



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN

**“CONSTRUCCIÓN DE UN ROBOT AUTÓNOMO PARA
DESINFECCIÓN DE SUPERFICIES MEDIANTE LUZ
ULTRAVIOLETA”**

Trabajo de titulación

Tipo: Propuesta Tecnológica

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN

AUTORES:

DENNYS GUSTAVO TOTOY CANTUÑA

GABRIELA MAYTE VILLACRÉS MANZANO

RIOBAMBA-ECUADOR

2022



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN

**“CONSTRUCCIÓN DE UN ROBOT AUTÓNOMO PARA
DESINFECCIÓN DE SUPERFICIES MEDIANTE LUZ
ULTRAVIOLETA”**

Trabajo de titulación

Tipo: Propuesta Tecnológica

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN

AUTORES: DENNYS GUSTAVO TOTOY CANTUÑA

GABRIELA MAYTE VILLACRÉS MANZANO

DIRECTOR: ING. JOSÉ ENRIQUE GUERRA SALAZAR

RIOBAMBA-ECUADOR

2022

©2021, Dennys Gustavo Totoy Cantuña y Gabriela Mayte Villacrés Manzano

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Nosotros, DENNYS GUSTAVO TOTOY CANTUÑA y GABRIELA MAYTE VILLACRÉS MANZANO, declaramos que el presente trabajo de titulación es de nuestra autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autores asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación; el patrimonio intelectual del Trabajo de titulación pertenece a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO”.

Riobamba, 6 de enero del 2022.



Dennys Gustavo Totoy Cantuña
060398348-7



Gabriela Mayte Villacrés Manzano
060489344-6

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN

El Tribunal del Trabajo de Titulación certifica que: El Trabajo de Titulación; tipo: Propuesta Tecnológica, **CONSTRUCCIÓN DE UN ROBOT AUTÓNOMO PARA DESINFECCIÓN DE SUPERFICIES MEDIANTE LUZ ULTRAVIOLETA**, realizado por el señor **DENNYS GUSTAVO TOTOY CANTUÑA** y la señorita **GABRIELA MAYTE VILLACRÉS MANZANO**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal autorizada su presentación.

	FIRMA	FECHA
Dr. Geovanny Estuardo Vallejo Vallejo PRESIDENTE DEL TRIBUNAL	_____	2022-01-06
Ing. José Enrique Guerra Salazar DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	_____	2022-01-06
Ing. José Luis Morales Gordón MIEMBRO DEL TRIBUNAL	_____	2022-01-06

DEDICATORIA

Dedico este trabajo principalmente a Dios por mi familia, la bendición y la fortaleza que me ha otorgado cada día de mi vida. A mi madre que, con su cariño, ejemplo de sacrificio y perseverancia me enseñó a no rendirme jamás a pesar de las circunstancias, su apoyo incondicional hizo posible este momento tan importante en mi formación profesional, siempre serás mi gran orgullo y mi fuente de inspiración para cada meta a alcanzar, te amo y no existe manera de devolverte tanto amor que me has dado. A mis tías Ana Marlene Cando, Rosa Aurora Cantuña, Gladys Carlota Cando y en especial a mi tío Víctor Washington Cando por ser mi ejemplo de dedicación, superación y perseverancia.

Dennys Totoy

Dedico el presente trabajo a Dios por darme la sabiduría necesaria para poder culminar con mi formación académica y por darme absolutamente todo lo que tengo hasta el día de hoy. A mis padres Víctor Villacrés y Ximena Manzano por ayudarme en varias áreas de mi vida como en el económico, emocional, intelectual y por siempre estar ahí cuando más los he necesitado. A mi novio Javier Suarez por ser mi ayuda idónea en momentos difíciles. A mis amigos por todo el apoyo en el ámbito académico y por la ayuda que me prestaron en momentos en los que algún tema se me era difícil de comprender, además por aquellos momentos de sana distracción cuando el tiempo nos lo permitía.

Gabriela Villacrés

AGRADECIMIENTO

Mi eterno agradecimiento al Ing. José Enrique Guerra Salazar e Ing. José Luis Morales Gordon, quienes de forma gentil nos apoyaron con su tiempo, paciencia y conocimientos para el desarrollo y culminación del presente trabajo, su capacidad para guiar nuestras ideas han sido un aporte invaluable, por formarnos con ética profesional. Agradezco a mi amiga Mayte Villacrés y a su familia, por la confianza y la oportunidad que se me brindó al abrirme las puertas de su hogar para realizar el presente trabajo y a mi amigo Stalin Salan por su tiempo y consejos. Agradezco a mi familia y amigos por su inmensa bondad y apoyo. Agradezco a Dios por protegerme y darme fuerzas para superar las dificultades a lo largo de esta etapa.

Dennys Totoy

Mi más sincero agradecimiento a Dios por cuidarme y por darme el entendimiento necesario para poder culminar el presente trabajo. Agradezco a mis padres por apoyarme en todo momento. A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo por permitirme pertenecer a tan distinguida Institución durante mis años de estudio en la Facultad de Ingeniería Electrónica. Al Ing. José Enrique Guerra Salazar e Ing. José Luis Morales Gordon por su papel de director de tesis y miembro de tribunal respectivamente, por su tiempo, sugerencias, aportes y guía para el correcto desarrollo de este trabajo de titulación. Además, agradezco a mi amigo Dennys Totoy por el tiempo, dedicación y desempeño que otorgo a la realización de este trabajo y al amigo Stalin Salan por su tiempo y apoyo.

Gabriela Villacrés

TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	xii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xivv
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xvii
ÍNDICE DE ANEXOS	xvii
RESUMEN	xx
SUMMARY	xxii
INTRODUCCIÒN	1

CAPITULO I

1.	DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA	2
1.1	Formulación del problema	2
1.2	Sistematización del problema.....	2
1.3	Justificación del trabajo de titulación.....	2
1.3.1	<i>Justificación teórica.....</i>	2
1.3.2	<i>Justificación practica.....</i>	4
1.4	Objetivos	4
1.4.1	<i>Objetivo general.....</i>	4
1.4.2	<i>Objetivos específicos</i>	4

CAPITULO II

2.	MARCO TEÓRICO.....	6
2.1	Antecedentes	6
2.2	Desinfección de Superficies con Luz Ultravioleta (UV).....	7

2.2.1	<i>Luz Ultravioleta</i>	7
2.2.2	<i>Desinfección con Luz Ultravioleta Tipo C</i>	8
2.2.3	<i>Tiempo y Eficacia de la Desinfección</i>	9
2.2.4	<i>Problemas de la Luz Ultravioleta Tipo C en el ser humano</i>	9
2.2.5	<i>Tipos de lámparas</i>	10
2.2.6	<i>Equipos Comerciales</i>	11
2.3	Robots Autónomos	14
2.3.1	<i>Estructura Mecánica</i>	15
2.3.2	<i>Tarjetas de Desarrollo</i>	17
2.3.3	<i>Tipo de Sensores</i>	18
2.3.4	<i>Elementos de Locomoción</i>	20
2.3.5	<i>Comunicaciones inalámbricas</i>	21
2.3.6	<i>Elementos de Regulación de Voltaje</i>	22
2.3.7	<i>Algoritmo de Evasión de Obstáculos</i>	23
2.3.7.1	<i>Algoritmo Aleatorio</i>	23
2.3.7.2	<i>Algoritmo de Tarry</i>	23
2.3.7.3	<i>Algoritmo de la mano derecha y la mano izquierda</i>	24
2.3.7.4	<i>Algoritmo de Automatización para un Robot Móvil</i>	25

CAPITULO III

3.	MARCO METODOLÓGICO	27
3.1	Requerimientos para la creación del RDUV-C	27
3.2	Consolidación general del RDUV-C	27
3.3	Arquitectura de <i>hardware</i> del RDUV-C	29
3.4	Diseño de las etapas de <i>hardware</i> del RDUV-C	30
3.4.1.	<i>Etapas de alimentación principal</i>	30

3.4.2.	<i>Etapa de obtención de datos</i>	30
3.4.3.	<i>Etapa de procesamiento</i>	31
3.4.5.	<i>Etapa de desinfección</i>	31
3.4.6.	<i>Etapa de visualización</i>	32
3.5	Selección de componentes de <i>hardware</i> para la construcción del RDUV-C	32
3.5.1	<i>Dispositivos para la desinfección</i>	32
3.5.1.1	<i>Lampara UV-C para desinfección</i>	32
3.5.1.2	<i>Relé Arduino 5V DC</i>	33
3.5.2	<i>Dispositivo de obtención de datos</i>	34
3.5.2.1	<i>Sensor ultrasónico HC-SR04</i>	34
3.5.2.2	<i>Sensor infrarrojo de distancia Sharp GP2Y0D810Z0F</i>	35
3.5.2.3	<i>Sensor Infrarrojo CNY70</i>	36
3.5.2.4	<i>Módulo de Sensor infrarrojo IR FC-51</i>	37
3.5.3	<i>Dispositivos de procesamiento</i>	38
3.5.3.1	<i>Arduino Mega 2560</i>	38
3.5.4	<i>Dispositivos de Visualización</i>	39
3.5.4.1	<i>Diodos led</i>	39
3.5.4.2	<i>Circuito Integrado LM3914 N-1</i>	40
3.5.5	<i>Dispositivos de Locomoción</i>	41
3.5.5.1	<i>Módulo Puente H L298N para control de motores</i>	41
3.5.5.2	<i>Motores DC Pololu 10:1</i>	43
3.5.6	<i>Dispositivos de alimentación</i>	43
3.5.6.1	<i>Dispositivos Regulador Buck DC-DC ajustable Step Down LM2596</i>	44
3.6	Diagrama de conexión para el RDUV-C	45
3.7	Diseño de PCB para la visualización de carga de la batería	49
3.8	Diseño estructural del RDUV-C	51
3.9	Construcción del prototipo RDUV-C	53

3.10	Requerimiento de diseño para el software	55
3.11	Arquitectura de <i>software</i> del dispositivo	55
3.12	Herramienta de <i>software</i>	56
3.12.1	<i>Diseño del software para el RDUV-C</i>	56
3.12.2	<i>Desarrollo del código para el sistema de detección y evasión de obstáculos</i>	56
3.13	Pruebas y Resultados.....	59
3.13.1	<i>Prueba de activación o desactivación automática del sistema de Luz UV-C.....</i>	59
3.13.2	<i>Prueba del sistema de detección y evasión de obstáculos</i>	61
3.13.2.1	<i>Prueba de avance frontal del RDUV-C al no detectar obstáculo</i>	61
3.13.2.2	<i>Prueba del algoritmo de giro hacia la derecha con detección de obstaculos del RDUV-C</i>	63
3.13.2.3	<i>Prueba del algoritmo de giro hacia la izquierda con detección de obstaculos del RDUV-C</i>	65
3.13.3	<i>Área de cobertura de limpieza</i>	66
3.13.4	<i>Velocidad estimada del prototipo RDUV-C para desinfectar el área destinada</i>	66
3.13.5	<i>Prueba del tiempo para el sistema de evasión de obstáculos</i>	67
3.13.5.1	<i>Tiempo de desplazameinto y desinfección en una superficie sin obstáculos</i>	67
3.13.5.2	<i>Tiempo de desplazamiento y desinfección en una superficie con obstáculos.....</i>	68
3.13.6	<i>Prueba del algoritmo de retorno al punto de partida.....</i>	69
3.13.7	<i>Tiempo de recarga y descarga de las baterías</i>	70

CAPITULO IV

4.	GESTION DEL PROYECTO	73
4.1	Cronograma tentativo (GANTT)	73
4.2	Análisis Económico del prototipo RDUV-C	74
	CONCLUSIONES	76

RECOMENDACIONES.....77

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-2:	Comparación de los diferentes tipos de luz UV-C	11
Tabla 2-2:	Comparación de las tarjetas de desarrollo.	18
Tabla 3-2:	Comparación de sensores.....	20
Tabla 4-2:	Comparación de motores	21
Tabla 5-2:	Comparación de reguladores.....	23
Tabla 1-3:	Especificaciones técnicas: Lámpara UV-C para desinfección.....	33
Tabla 2-3:	Especificaciones técnicas: Relé Arduino 5VDC	34
Tabla 3-3:	Especificaciones técnicas: Sensor ultrasónico HC-SR04.	35
Tabla 4-3:	Especificaciones técnicas: Sensor infrarrojo Sharp GP2Y0D810Z0F.	36
Tabla 5-3:	Especificaciones técnicas: Sensor infrarrojo CNY70.....	37
Tabla 6-3:	Especificaciones técnicas: Módulo sensor infrarrojo IR FC-51.	38
Tabla 7-3:	Especificaciones técnicas: Arduino Mega 2560.	39
Tabla 8-3:	Caída de tensión y corriente de los Diodos Emisores de Luz	40
Tabla 9-3:	Especificaciones técnicas: Circuito Integrado LM3914 N-1	41
Tabla 10-3:	Especificaciones técnicas: Módulo Puente H L298N.....	42
Tabla 11-3:	Especificaciones técnicas: Motor DC Pololu 10:1	43
Tabla 12-3:	Especificaciones técnicas: Regulador Buck DC-DC Step Down LM2596.....	45
Tabla 13-3:	Tabla de conexión de terminales y elementos electrónicos.	48
Tabla 14-3:	Tabla de conexión de terminales del circuito integrado LM3914 N-1.	50
Tabla 15-3:	Características de la estructura.....	52
Tabla 16-3:	Características del RDUV-C.....	55
Tabla 17-3:	Registro de 6 muestras efectuadas en el sensor Sharp GP2Y0D810Z0F para el sistema de activación o desactivación de Luz UV-C.....	60

Tabla 18-3:	Registro de 10 muestras efectuadas en el sensor Ultrasónico frontal, para el avance frontal del prototipo RDUV-C.....	63
Tabla 19-3:	Registro de 8 muestras aleatorias efectuadas en los sensores: Ultrasónico frontal, Ultrasónico Izquierdo y Derecho, para prueba de autonomía del sensor derecho con obstáculo	64
Tabla 20-3:	Registro de 8 muestras aleatorias efectuadas en los sensores: Ultrasónico frontal, Ultrasónico Izquierdo y Derecho, para prueba de autonomía del sensor izquierdo con obstáculo	66
Tabla 21-3:	Registro de 3 tiempos de muestra desarrollados en la superficie del área a desinfectar sin obstáculos.	68
Tabla 22-3:	Registro de 3 tiempos de muestra desarrollados en la superficie del área a desinfectar con obstáculos.	69
Tabla 23-3:	Registro del tiempo de carga de la batería.....	71
Tabla 1-4:	Análisis de costo del prototipo RDUV-C.....	73
Tabla 2-4:	Análisis de costo del prototipo RDUV-C.....	74

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-2:	Espectro electromagnético de radiación de la luz.	7
Figura 2-2:	CleanseBot Robot de limpieza de cama con tecnología de luz UV-C.	12
Figura 3-2:	Robot Powerful UVC Germicidal Lamp.	12
Figura 4-2:	Robot sanitizante utilizado Luz UV-C contra covid-19 en el aeropuerto de Pittsburgh.	13
Figura 5-2:	Estructura de un robot autónomo.	14
Figura 6-2:	Estructura de un robot móvil con ruedas.	15
Figura 7-2:	Estructura de un robot móvil con patas.	16
Figura 8-2:	Estructura de un robot móvil con configuración articulada.	16
Figura 9-2:	Estructura de un robot móvil tipo oruga.	17
Figura 10-2:	Posicionamiento inicial.	25
Figura 11-2:	Recorrido de la habitación.	26
Figura 1-3:	Consolidación General del RDUV-C: (a) primera etapa, (b) segunda etapa y (c) tercera etapa.	28
Figura 2-3:	Arquitectura de <i>hardware</i> del RDUV-C.	29
Figura 3-3:	Lampara UV-C para desinfección.	32
Figura 4-3:	Relé Arduino 5VDC.	33
Figura 5-3:	Sensor ultrasónico HC-SR04.	34
Figura 6-3:	Sensor infrarrojo de distancia Sharp GP2Y0D810Z0F.	35
Figura 7-3:	Sensor infrarrojo CNY70	36
Figura 8-3:	Módulo sensor infrarrojo IR FC-51.	37
Figura 9-3:	Tarjeta de desarrollo de Arduino Mega 2560.	38
Figura 10-3:	Diodos Led: verde, amarillo y rojo.	40
Figura 11-3:	Circuito Integrado LM3914 N-1.	41

Figura 12-3:	Módulo Puente H L298N para control de motores.	42
Figura 13-3:	Motores DC Pololu 10:1.....	43
Figura 14-3:	Batería Lipo 7,4v a 1500Ma Y Batería Lipo 7,4v 2200mA.....	44
Figura 15-3:	Regulador Buck DC-DC Step Down LM2596.	45
Figura 16-3:	Diagrama de conexiones del procesador central.	47
Figura 17-3:	Esquema del sistema de monitoreo de carga en Proteus 8 Profesional.	49
Figura 18-3:	Diseño en PCB y esquema en 3D, respectivamente.	51
Figura 19-3:	Placa después del atacado químico con cloruro férrico y ensamblada con todos los componentes soldados.	51
Figura 20-3:	Diseño en 3D del RDUV-C.....	52
Figura 21-3:	Diseño en 3D de la caja de: locomoción, control y sensores y visualización.....	53
Figura 22-3:	Impresión en 3D de la caja del prototipo RDUV-C.....	54
Figura 23-3:	Ensamblaje de cada elemento de la caja de: (a) locomoción, (b) control y sensores y (c) visualización.	54
Figura 24-3:	Validación de activación o desactivación del sistema Luz UV-C.....	59
Figura 25-3:	Prueba con el prototipo RDUV-C en funcionamiento.	60
Figura 26-3:	Validación de la señal del sensor ultrasónico HC-SR04.....	61
Figura 27-3:	Validación de la señal del sensor infrarrojo IR FC-5.....	62
Figura 28-3:	Proceso de prueba del sensor frontal.	62
Figura 29-3:	Proceso de prueba del sensor derecho con obstáculo.....	64
Figura 30-3:	Proceso de prueba del sensor izquierdo con obstáculo.	65
Figura 31-3:	Prueba de desinfección en una superficie libre de objetos.	67
Figura 32-3:	Prueba de desinfección en una superficie con objetos.	68
Figura 33-3:	Validación de detección del color negro.....	69
Figura 34-3:	Prueba de retorno a casa.	70

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-2:	Algoritmo de la mano derecha y la mano izquierda.	24
Gráfico 1-3:	Diagrama de bloques de la adquisición de datos.	30
Gráfico 2-3:	Diagrama de bloques de procesamiento.	31
Gráfico 3-3:	Diagrama de bloques de desinfección.	31
Gráfico 4-3:	Diagrama de bloques de visualización.	32
Gráfico 5-3:	Diagrama de flujo para el sistema de desinfección, detección y evasión de obstáculos.	57

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: CÓDIGO DE PROCESAMIENTO EN ARDUINO

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

3D	Tercera Dimensión
A	Amperio
ADN	Ácido desoxirribonucleico
C++	Lenguaje de Programación
Cm	Centímetros
Cm/s	Centímetros sobre segundo
DC	Corriente Continua
G	Gramo
GND	Ground
GPIO	Entrada/Salida de Propósito General
Hz	Hertz
IDE	Integrated Development Environment
IVA	Impuesto al valor agregado
KB	Kilobyte
KHz	Kilohertz
KΩ	Kohmios
Ma	Miliamperios
MHz	Megahertz
Mm	Milímetros
Ms	Milisegundos
Nm	Nanómetro
NO	Normalmente Abierto
PDB	Printed Circuit Board
PRDUV-C	Prototipo de robot desinfección con luz UV-C
PWM	Pulse Width Modulation
RPM	Revoluciones por Minuto
TCP/IP	Descripción de protocolos de red
TTL	Time To Live
μF	Microfaradio
USB	Universal serial bus

UV	Luz Ultravioleta
UV-A	Luz Ultravioleta tipo A
UV-B	Luz Ultravioleta tipo B
UV-C	Luz Ultravioleta tipo C
V	Voltaje
VCC	Voltaje en corriente directa
W	Watts

RESUMEN

El presente trabajo de titulación se centró en la construcción de un robot autónomo para desinfección de superficies con luz ultravioleta, debido a la necesidad de eliminar diferentes tipos de bacterias o virus que sean dañinos para el ser humano. Su finalidad fue sustituir diferentes métodos de desinfección tradicionales y por esto se desarrolló un robot autónomo que permita la desinfección de superficies con luz UV-C. Es importante recalcar que este tipo de luz es peligrosa cuando se encuentra en contacto directo con el ser humano, por tal razón, se realizó un estudio de los daños y una investigación de robots similares existentes en el mercado. Previo a la construcción del prototipo se desarrolló un análisis de posibles componentes a ser utilizados en la concepción del sistema. Después se implementó cada elemento y se tomó de base el tiempo de desinfección establecido por el fabricante de la luz UV-C comercial. Por seguridad se utilizó un sensor Sharp para el sistema de activación para la luz, con el fin de evitar posibles fugas. Un sistema de detección y evasión de obstáculos con dos tipos de sensores (ultrasonicos e infrarrojos), un sensor para el retorno a casa y una tarjeta de desarrollo Arduino, que además se encargó del control de los motores. Por último, consto de un sistema de visualización del estado de la batería y encendido. Concluyendo que, mediante el establecimiento de un rango de medida para la detección y evasión de obstáculos, se obtuvo un error promedio de 1cm en la medición del sensor frontal, lo cual no presento interferencia significativa en su avance, adicionalmente posee un funcionamiento autónomo de 90 minutos y un peso de 740.08g. Para trabajos futuros se recomendó emplear visión artificial que permita realizar un mapeo de los obstáculos presentes en la superficie y así evadirlos.

PALABRAS CLAVE:

<ROBOT AUTÓNOMO>, <MÉTODOS DESINFECCIÓN DE SUPERFICIES>, <LUZ ULTRAVIOLETA TIPO C (UV-C)>, <DETECCIÓN DE OBSTÁCULOS>, <EVASIÓN DE OBSTÁCULOS>, <SENSOR DE DISTANCIA >, <ARDUINO (SOFTWARE) >.



Firmado electrónicamente por:
HOLGER GERMAN
RAMOS UVIDIA

2207-DBRA-UPT-2021

2021-12-06

SUMMARY

The present graduate research project was to build an autonomous robot for disinfection surfaces with ultraviolet light due to the need to eliminate different types of bacteria or viruses that are harmful to humans. An autonomous robot was developed to carry out this project, allowing the surfaces to be disinfected with UV-C light. It is important to emphasize that this type of light is dangerous when it is in direct contact with humans; for that reason, a study of the damage and an investigation of similar robots available in the market. Before the prototype construction, an analysis of possible components to be used was developed in the system's conception. Afterward, each element was implemented, and the disinfection time was taken as a basis established by the manufacturer of the commercial UV-C light. For security purposes, a Sharp sensor was used for the activation system for the light to avoid possible leakage. An obstacle detection and avoidance system with two sensors (ultrasonic and infrared), a sensor for the return home, and an Arduino development board were also in charge of controlling the engines. Finally, it consisted of a system of battery monitoring and power status. It is concluded that, by establishing a range of measurement for the detection and avoidance of obstacles, an average error of 1cm in the measurement of the front sensor, which did not present significant interference in its advance, additionally it has an autonomous operation of 90 minutes and a weight of 740.08g. For future research, it is recommended to use artificial vision to map the obstacles presented on the surface and thus avoid them.

KEYWORDS

<AUTONOMOUS ROBOT> <TYPE C UV LIGHT (UV-C)> <OBSTACLE DETECTION>
<DISTANCE SENSOR> <ARDUINO (SOFTWARE)>.



Firmado electrónicamente por:

**LENIN
IVAN LARA**

INTRODUCCIÓN

Actualmente, la aplicación de elementos químicos para realizar la desinfección de superficies es un método tradicional, los cuales pueden llegar a causar daños tanto en el sistema respiratorio del ser humano como en las características de la superficie a desinfectar, esto se debe en ocasiones a la falta de nuevas tecnologías de desinfección.

Por tal razón, se muestra una forma alternativa para desarrollar una desinfección de superficies de forma óptima, autónoma y no dañina para el área a tratar, con la utilización de Luz UV (Luz Ultravioleta), los cuales, con el pasar del tiempo han ido tomando relevancia en el campo de la desinfección de áreas.

El desarrollo del presente trabajo de titulación busca la aplicación de tecnologías actuales de desinfección como una opción alterna al método tradicional, implementando un prototipo en base a la Luz UV-C para la desinfección de superficies de forma autónoma, y así, poder llevar a cabo una desinfección de superficies de manera segura; mediante el correcto procesamiento de los datos desarrollados en el software Arduino.

Los resultados obtenidos del método autónomo de desinfección, en base al prototipo implementado, con el diseño de hardware y software seleccionado; dicho método caracteriza la validación desarrollada correspondiente a un método tradicional químico.

La finalidad del trabajo planteado es evidenciar el uso de un modelo de tecnología alterno a métodos de uso convencional para obtener resultados similares a los obtenidos de forma tradicional, proporcionando así una herramienta óptima para su uso.

CAPITULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

En este capítulo, se presenta la formulación del problema de estudio, el análisis de la sistematización del problema, una descripción de la justificación teórica y práctica, además, el planteamiento de los objetivos que tiene el presente tema a desarrollar.

1.1 Formulación del problema

Construcción de un robot autónomo para desinfección de pisos mediante luz ultravioleta

1.2 Sistematización del problema

¿Cómo funcionan los sistemas de desinfección con luz ultravioleta?

¿Cuáles fueron los requerimientos que debe cumplir el prototipo a implementar?

¿Cuál era el diseño que permitió cumplir con los requerimientos establecidos?

¿Cuáles fueron los elementos software y hardware que permitieron la implementación del diseño propuesto?

¿Cómo se evaluó si el prototipo implementado cumplió con los requerimientos establecidos?

1.3 Justificación del trabajo de titulación

1.3.1 Justificación teórica

La problemática que se presentó se basó en la existencia de bacterias y virus en áreas con poca ventilación, iluminación y espacios reducidos o limitados. Estos se encuentran presentes en el aire; en la comida; las plantas y los animales; en el suelo y en el agua, es decir en todas las superficies, incluido el ser humano. La mayoría no resultan perjudiciales. Sin embargo, algunos son grandes adversarios, esto se debe a que mutan constantemente, de esta manera logran atravesar las defensas del sistema inmunitario (Foundation for Medical Education and Research, 2018).

Muchas bacterias y virus son las responsables de diferentes enfermedades que pueden contaminar al ser humano. Se estima que todos los años 48 millones de personas se enferman por una afección de

alguna bacteria o virus, de los cuales 128 000 son hospitalizados y 3000 mueren, según lo mencionado por la CDC (Centros para el Control y la Prevención de Enfermedades) (CDC, 2018).

Se aplicó y desarrollo mejoras tecnológicas para satisfacer las carencias diarias en la sociedad, mejoró el proceso de desinfección, concientizo a las personas sobre la necesidad de mantener un ambiente limpio y libre de bacterias y virus, el mismo que fue posible al cambiar la forma habitual de limpieza del hogar, pasando del uso tradicional y cotidiano de elementos químicos al uso de luz ultravioleta, la misma que se destaca por tener una efectividad del 99.99% de eliminación de bacterias y virus en el ambiente, según la publicación realizada por José Fernández (Fernández-Rúa, 2020).

Este tipo de luz ultravioleta es particularmente efectivo para destruir el material genético de microorganismos, como bacterias y virus, impidiendo su replicación, esta aseveración se resalta en la publicación del diario Digital Argentino “Infobae”, el cual menciona que, en China, se aplica esta tecnología como método de desinfección a autobuses, a raíz del nuevo coronavirus. Fue desarrollado por la empresa de transporte público de Shanghai, Yanggao, el cual reconvirtió un túnel de lavado clásico para autobuses en una zona de desinfección equipada con 120 tubos con luz ultravioleta. El mismo que permite una reducción de tiempo de 40 a 5 minutos. Mediante este método se disminuye el contacto con el ser humano, dado que los empleados conducen los autobuses uno por uno al túnel. Luego salen de la zona de desinfección y activan el sistema. Yanggao puede tratar más de 250 autobuses al día, de los 1000 que posee la compañía de transporte Menciona Qin Jin (Infobae, 2020).

Actualmente en Ecuador, la investigación del uso de luz ultravioleta es escaso, existiendo por el momento un robot que cuenta con sistema de desinfección que usa este tipo de tecnología para hospitales, cuyo modelo de robot es el LighStrike creado en el año 2015 y desarrollado por la empresa Xenex líder mundial en desinfección UV y adquirido en Ecuador por: Sistema Médicos SIME de la USFQ (Universidad San Francisco de Quito), Hospital IESS Quito SUR, Hospital Metropolitano (Firmesa 360Life, 2020). Su principal desventaja se basa principalmente en que para su uso no debe existir ningún ser humano a su alrededor, esto se debe a que esta tecnología, resulta ser nociva para el hombre por tal motivo el presente trabajo de titulación planteo el diseño y construcción de un robot autónomo para desinfección de superficies con luz ultravioleta. El mismo que requirió desarrollar un sistema que se basó principalmente en desinfectar superficies de una manera autónoma y que además conto con protecciones que eviten el contacto de la luz ultravioleta con el ser humano.

1.3.2 Justificación practica

Mediante la investigación se deseó desarrollar e implementar el prototipo tentativo de un robot, que fue capaz de realizar la desinfección de superficies planas con luz ultravioleta. Debido a la efectividad que posee al momento de eliminar virus o bacterias que se encuentren en la superficie a tratar. El mismo fue capaz de funcionar de forma autónoma sobre el piso, es decir sin necesidad de la presencia del ser humano, mediante la utilización de módulos de sensores que permitan tener una correcta trayectoria y de esta manera evitar colisiones, el mismo que se complementó con el uso de software de programación de tarjetas microcontroladoras programables. El área del piso a desinfectar fue de 1.50m x 2.00m con batería a plena carga, esto se debió a que el movimiento del robot era lento para mayor efectividad de la desinfección y posteriormente el robot debía regresar a su punto inicial. El prototipo conto con indicadores de funcionamiento y de consumo de batería. El tamaño fue alrededor de 17cm de radio. El modelo guía del robot fue el tipo oruga, por tal motivo el prototipo no tuvo la capacidad de subir escalones, esto fue con el fin de evitar posibles fugas de luz ultravioleta.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

“Construcción de un robot autónomo que permita la desinfección de pisos mediante la utilización de luz ultravioleta”.

1.4.2 Objetivos específicos

- Analizar el funcionamiento de los sistemas de desinfección con luz ultravioleta.
- Establecer los requerimientos necesarios que debe cumplir el prototipo a implementar.
- Diseñar un modelo de robot autónomo que satisfaga los requerimientos establecidos.
- Determinar los elementos software y hardware para implementar el diseño propuesto.
- Evaluar si el prototipo cumple con los requerimientos establecidos.

Para la elaboración de la investigación desarrollada en el presente documento se detallan todas las actividades realizadas, en tres capítulos. El Primer Capítulo realiza un estudio que permita la adquisición de información referente a la construcción de un robot autónomo para la desinfección de

superficies. El Segundo Capítulo abordó el Marco Metodológico donde se establecen: los requerimientos, concepción del *hardware/software* e implementación del prototipo. Finalmente, el Tercer Capítulo mediante la realización de pruebas experimentales, a través de técnicas de observación, empleadas en la comparación de datos obtenidos, demostró su funcionamiento. Por último, se desarrolla un estudio de costos para la construcción del prototipo además de la elaboración de conclusiones y recomendaciones referentes al trabajo de titulación.

CAPITULO II

2. MARCO TEÓRICO

En este capítulo, se aborda temas esenciales sobre la desinfección de superficies mediante el uso de luz ultravioleta. Se realizará un estudio sobre el tipo de luz utilizada para la desinfección, y además se desarrollará una investigación de equipos comerciales, que servirán como base para determinar los elementos electrónicos que permitan la autonomía en la detección y evasión de obstáculos.

2.1 Antecedentes

Miguel Hidalgo, cita que la luz ultravioleta posee un poder germicida que ocasiona desarreglos moleculares en el material genético (ácido nucleico, DNA) del microorganismo, esto impide su reproducción, por lo que se podría considerar que está MUERTO. Ningún otro medio de desinfección es tan efectivo como la luz ultravioleta (Landy & Romeo, 2014).

La EPA (Agencia de Protección Ambiental de U.S.A.), a su vez resalta que la desinfección con Luz ultravioleta es considerada como el principal mecanismo para la desinfección o destrucción de organismos patógenos con el fin de prevenir la dispersión de enfermedades transmitidas a través de superficies (Landy & Romeo, 2014).

En el epicentro de la pandemia en Estados Unidos, específicamente en Nueva York se comenzará a aplicar un sistema para desinfectar los vagones del metro y buses, mediante la luz UV-C. Esto permitirá destruir el material genético de microorganismos como virus y bacterias, impidiendo de esta manera su replicación. Dado que desde 1878 este método básico de esterilización se ha implementado en hospitales, aviones, oficinas e incluso en fábricas de alimentos (BBC NEWS, 2020).

Jefferson Pichucho de Latacunga- Ecuador, se encuentra desarrollando un prototipo que utiliza los rayos solares UV para la desinfección de las superficies de las mascarillas o distintos objetos. Esto se debe a la situación actual, donde las mascarillas N95 o de cualquier tipo, posibilitando así, la reutilización hasta por 5 días. Además, esto se podrá implementar en Centros de salud, Hospitales, Hogares, en los cuales es una opción en caso de escases (Jefferson Paul Pichucho Castellano, 2020).

Esta radiación en menores cantidades, resultan ser beneficiosas para la salud, ya que, desempeñan una función principal en generar vitamina D esencial para el ser vivo. Sin embargo, la exposición de manera prolongada a esta radiación puede llegar a causar varios tipos de enfermedades, entre ellas las más importantes es el cáncer de piel, quemaduras de sol, defensas bajas, ceguera, y otras enfermedades visuales. (Organización mundial de la Salud, 2015).

La Luz UV-C resulta ser muy peligrosa para los seres humanos, esta luz es absorbida por la capa de ozono de la estratosfera, por lo que nunca llega a la tierra, (LA INFORMACIÓN, 2016). Este tipo de luz se da por del flujo de corriente a través del vapor de mercurio entre los electrodos de la lámpara. Poseen baja presión de mercurio y son capaces de producir la mayoría de los rayos con longitud de 253.7 nm (Tarrán Elio, 2017).

2.2.2 Desinfección con Luz Ultravioleta Tipo C

Es capaz de matar microorganismos, como bacterias, virus y otros patógenos o impedir su desarrollo, además ofrece un enfoque libre de químicos, limpio y amigable para el medio ambiente, es por ello, que el uso de esta tecnología resulta ser conveniente como método de desinfección. (López Said, 2020).

Los microbios son destruidos por la UV cuando, la luz penetra a través de la célula y es absorbida por el ácido nucleico. La absorción de esta ocasiona una reordenación del ADN, lo que interfiere con la capacidad de reproducirse. Esto da como resultado el daño fotoquímico que sostiene el ácido nucleico (Tarrán Elio, 2017).

La aplicación como método de desinfección depende de algunos factores, tales como la distancia del objeto, la potencia de radiación, objetos que son capaces de absorber la UV, áreas donde la luz no accede de forma directa, etc. (López Said, 2020).

La producción artificial de este tipo de luz es utilizada con éxito como germicida y bactericida a lo largo de varios años, debido a su efectividad, la luz UV-C tiene una amplia gama de usos cada vez mayor, como, por ejemplo: desinfección en estaciones depuradoras de aguas residuales, laboratorios, mecanismos de aire acondicionado, así como en diversas etapas de procesos industriales de alimentos y bebidas, en entornos médicos y hospitalarios para la esterilización de instrumentos, centros de trabajo y aire (Comisión Europea, 2017).

Mediante la información recolectada, se concluye que, el tipo de luz UV que permite el proceso de desinfección de superficies es la luz UV-C, esto se debe a la capacidad que posee para eliminar virus y bacterias, al eludir su reproducción y prevenir enfermedades en el ser humano.

2.2.3 Tiempo y Eficacia de la Desinfección

Depende del tipo de lámpara a implementar, el cual está relacionado a la intensidad, distancia y vida útil de la lámpara UV-C.

La dosificación de la luz UV se determina a partir de la ecuación 1-2:

$$\text{Dosificación} = I * T \quad (1-2)$$

Donde:

Dosificación: dosis de irradiación aplicada (KJ/m^2).

I: intensidad de irradiación bajo el área de emisión de la luz UV-C (W/m^2).

T: tiempo de exposición (s).

El tiempo de exposición es vital para asegurar un correcto desempeño (Millán Villarroel et al., 2015). Pese a que no es fácil determinar el tiempo correcto de contacto, dado que esto depende del tipo de superficie y de las características, resulta importante indicar que a mayor tiempo de exposición mayor es la eficacia (Tarrán Elio, 2017).

2.2.4 Problemas de la Luz Ultravioleta Tipo C en el ser humano

La radiación UV-C, producida por el sol, tiene una longitud de onda corta y es capaz de filtrarse casi en su totalidad al momento que pasa por la atmósfera antes de llegar a la superficie de la tierra. Por tanto, las personas están muy poco o nada expuestas a ella de forma natural, lo cual resulta ser una ventaja. Por lo tanto, mientras más corta sea su longitud de onda, más efecto podría tener la radiación UV en la salud del ser humano (Prieto, 2017).

Esta luz es capaz de producir daño directo al ser humano, dado que ataca el material genético formando estructuras que evitan la síntesis normal del ADN, por ende, esta estructura es capaz de provocar la muerte de la célula, llegando a producir mutaciones y fragmentaciones al material

genético. Como resultado de estos acontecimientos es el riesgo de tener cáncer a la piel (María Martínez, 2012).

Un caso en concreto sobre el peligro que ocasiona la exposición directa del ser humano a la luz UV-C se dio en Tianjin-China en el año 2018, lo menciona la revista La Vanguardia. La misma relata que la negligencia de una profesora, al dejar encendida la luz por un lapso de nueve horas, ocasiono heridas a más de 40 niños, donde los menores presentaron síntomas de gravedad como: vomito, sangrado de ojos y quemaduras en su rostro y cuello (La Vanguardia, 2018).

Con esta información se puede concluir que la exposición inmediata o prolongada a esta radiación puede ocasionar daños en el ser humano como laceraciones leves hasta daños serios.

2.2.5 Tipos de lámparas

En la siguiente sección, se describen los diferentes tipos de lámparas de luz UV-C disponibles en el mercado. Las más importantes se citan a continuación:

Tubos Portátil: Esteriliza objetos con la luz UV-C que elimina las bacterias en las áreas más difíciles de alcanzar, elimina gérmenes y hasta el 99.9% de bacterias. Es compatible con teléfonos celulares de hasta 6.5 pulgadas o cualquier otro objeto pequeño, es ergonómico y compacto lo que hace fácil llevarlo donde quiera (SINOSTAR, 2019).

Lámpara UV-C tipo led: Consta de 20 luces LED UVC, se encarga de desinfectar y eliminar hasta el 99.9% de gérmenes, virus y bacterias. Se puede usar sobre la superficie del sofá, cama, bañera, toalla, tapete, y más. Cuenta con un sistema de seguridad para el ser humano, el cual al momento de moverlo este se apaga automáticamente, así, se evita el contacto directo con la luz ultravioleta (Compañía 59S, 2018).

En la Tabla 1-1, se elabora un análisis comparativo sobre las principales características que poseen cada tipo de lámpara de luz UV-C.

Tabla 1-2: Comparación de los diferentes tipos de luz UV-C

CARACTERISTICAS	Tipo de lámpara UV-C	
	TUBO portátil	Tipo Led
Precio	\$29 inc. IVA	\$35 inc. IVA
Dimensión	218*122*53mm	1.375*40*35mm
Peso	490g	170g
Voltaje	5 VDC	5VDC
Potencia Nominal	2-9 W	10W, se puede variar la intensidad
Área de Aplicaciones	15.24cm	_____
Tiempo de Trabajo	5-8minutos	15 minutos
Certificaciones	CE (Europa) – FCC, Rohs (Germany)	CE (Europa) – FCC, Rohs (Germany), Microbiological Testing Report

Realizado por: Dennys Totoy y Gabriela Villacrés, 2021.

Acorde a los datos adquiridos en la Tabla 1-2, se concluye que el modelo de lámpara tipo tubo resulta ser factible para la desinfección de superficies, por sus características como: tiempo de trabajo, precio, tamaño y área de aplicación, lo cual la ubica como la óptima para ser implementada.

2.2.6 Equipos Comerciales

CleanseBot: La revista Computer Hoy, mencionó el 6 de mayo de 2019, el desarrollo del primer robot que es capaz de matar bacterias y virus de la cama u otros lugares. Su creación se debe a las enfermedades o infecciones que los usuarios pueden adquirir al hospedarse en un hotel. Dos estudios independientes de CleanseBot indican que elimina el 99.99% de las bacterias. Además, es capaz de moverse por dentro de la cama sin caer y así suprimir las bacterias que existan en las sábanas y el colchón, posee la capacidad de usarse en modo manual para higienizar objetos como celulares o juguete. Contiene 18 sensores adaptados de forma particular para funcionar en telas para evitar que el robot caiga o se enrede en las sábanas, mientras está en funcionamiento y posee cuatro luces ultravioleta que emiten luz tanto por la parte superior como por la inferior (Pascual, 2019).

En la figura 2-2, se indica el diseño del CleanseBot.



Figura 2-2: CleanseBot Robot de limpieza de cama con tecnología de luz UV-C.

Fuente: Pascual, 2019.

Powerful UV-C Germicidal Lamp: es un robot gadget que fue publicado en el 2015 por Metro World News. Su funcionamiento consiste en disparar ondas de luz para destruir bacterias y otros patógenos microscópicos, manteniendo así la casa libre de gérmenes. El objetivo es reducir la dependencia de las personas al uso de productos químicos tóxicos para mantener limpia la casa, esto fue descrito por Ryan Lue, un ingeniero de THAT (compañía de Seattle). Luego, además, menciona en la revista Publimetro que actualmente se encuentra disponible en Kickstarter (News, 2015).

En la figura 3-2, se observa el robot Uve limpiador de cocinas que utiliza UV para desinfectar superficies.



Figura 3-2: Robot Powerful UVC Germicidal Lamp.

Fuente: News, 2015.

Robot sanitizante con luz UVC contra covid-19: El periódico de Pilotzi Noticias en mayo del 2020 menciona que en el Aeropuerto internacional de Pitts ubicado en los Estados Unidos se implementó el uso de robots autónomos con el objetivo de realizar una desinfección a profundidad sobre las áreas expuestas al coronavirus con tecnología UV-C. Su desarrollo se establece al determinar un área específica de limpieza donde el vehículo autónomo rocía agua y desinfectante al mismo tiempo sobre la superficie, durante este proceso se aplica una emisión controlada de luz, la cual va guiando al robot señalando los espacios que aun estén sucios. Posee una memoria interna, que le permite al robot tener información sobre datos que son ingresados por el operador y así tener la capacidad de realizar la tarea de desinfección en las áreas ya programadas (Redacción, 2020).

En la figura 4-2, se indica la estructura que lo conforma, la cual cuenta con dos sistemas de sensores para evitar obstáculos y personas durante su recorrido (Redacción, 2020).



Figura 4-2: Robot sanitizante utilizado Luz UV-C contra covid-19 en el aeropuerto de Pittsburgh.

Fuente: Redacción, 2020.

En base a la información recolectada anteriormente sobre los diferentes modelos de robots, se llega a la conclusión de que la característica en común es el sistema de protección, el mismo que evita que se escape cualquier rayo de luz UV-C, además, se desconoce que en el Ecuador exista un sistema que

emplee este tipo de desinfección en superficies, por lo tanto, la implementación de un robot autónomo que use este método resulta ser innovador y factible de realizar en el país.

2.3 Robots Autónomos

Por lo general este tipo de robot se encuentra destinado a simular el comportamiento de un ser vivo y a su vez, se encuentra conformado por diferentes subestructuras, tales como (Roberto Carlo Reyes Pérez, 2015):

- **Estructura mecánica:** estructura con ruedas, patas y orugas.
- **Locomoción:** motores, luces, brazos, ruedas y cualquier elemento que permita la intercomunicación con el ambiente.
- **Capacidad de percepción:** sonar, sensores, laser, cámaras y cualquier elemento que proporcione información del ambiente.
- **Inteligencia:** métodos, algoritmos, etc. Esto permite la intercomunicación del ambiente a través de los sensores.

En la figura 5-2, se puede observar la estructura general de un robot autónomo.

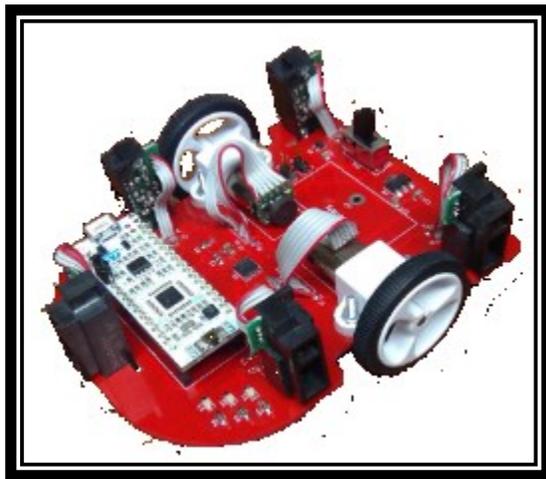


Figura 5-2: Estructura de un robot autónomo.

Fuente: IEE,2018.

A continuación, se desarrolla un estudio y revisión bibliográfica comparativa de los diferentes componentes electrónicos que pueden conforman la estructura de un robot autónomo.

2.3.1 Estructura Mecánica

Los robots autónomos móviles se clasifican acorde al modo de desplazamiento en: robots con ruedas, orugas, con configuraciones articuladas y robots con patas.

- **Ruedas:** En la figura 6-2, se muestra esta estructura que le permite al robot tener la capacidad de movilizarse en terrenos duros, en donde es posible obtener velocidades relativamente altas. Aunque dependiendo del tipo de terreno las ruedas pueden patinar (Marc Bonell Sanchez, 2011).



Figura 6-2: Estructura de un robot móvil con ruedas.

Fuente: VIRTUALEXPO GROUP, 2018.

Los robots más comunes que utilizan este sistema de locomoción son:

- ❖ **Acherman o Tipo Coche:** se utiliza en vehículos de cuatro ruedas. El sistema consiste en dos ruedas traseras que forman el chasis del vehículo y dos ruedas delanteras que dan el direccionamiento de la trayectoria del robot (Azcón & Pujol, 2003).
- ❖ **Triciclo Clásico:** este sistema se basa en una rueda delantera que sirve de tracción y direccionamiento y dos ruedas traseras laterales que se mueven de forma libre (Azcón & Pujol, 2003).
- ❖ **Tracción Diferencial:** la tracción y el tipo de direccionamiento se da por la diferencia de velocidades de las ruedas laterales, las mismas que son montadas en un único eje con independencia propulsada y controlada. (Azcón & Pujol, 2003).
- ❖ **Skid Steer:** este sistema dispone de varias ruedas en cada lado del vehículo que actúan en forma síncrona. Su movimiento depende de la combinación de velocidades de las ruedas izquierda con la derecha (Azcón & Pujol, 2003).

- **Patas:** En la figura 7-2, se observa que este tipo de desplazamiento imita distintos movimientos que pueden llegar a ser similares a los animales y al hombre. Además, existen varias aplicaciones que poseen este movimiento debido a la adaptabilidad para desplazarse en terrenos irregulares (Marc Bonell Sanchez, 2011).



Figura 7-2: Estructura de un robot móvil con patas.

Fuente: Sirpa, 2017.

- **Configuración Articulada:** En la figura 8-2, se indica que este tipo de estructura es útil para desplazarse en un terreno difícil. Esto se debe a la solución simple que otorgan las articulaciones para atravesar caminos estrechos (Marc Bonell Sanchez, 2011).

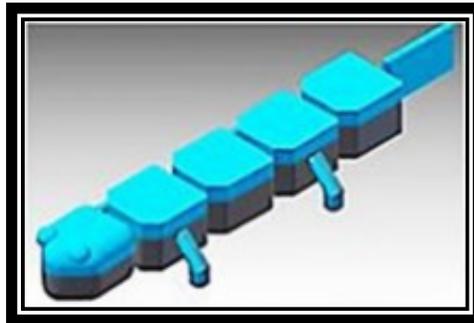


Figura 8-2: Estructura de un robot móvil con configuración articulada.

Fuente: Luna et al., 2016.

- **Oruga:** La figura 9-2, se presenta un prototipo basado en este tipo de robots, dado que son capaces de desplazarse por terrenos no pavimentados y son muy útiles en trabajos en exteriores (González et al., 2015).



Figura 9-2: Estructura de un robot móvil tipo oruga.

Fuente: cscazorla, 2011.

Después de estudiar diferentes estructuras mecánicas se concluye, que la estructura mecánica que cumple con los parámetros de desplazamiento es la estructura mecánica que utiliza ruedas, esto se debe a que: su recorrido se lleva a cabo en superficies planas (lisas), además tiene mejor tracción a diferencia de los otros tipos de locomoción.

2.3.2 Tarjetas de Desarrollo

Es importante evaluar los diferentes tipos de tarjetas de desarrollo que existen actualmente en el mercado, estas pueden variar en tamaño, velocidad de procesamiento y funcionalidad. Hoy en día las más utilizadas son: Arduino y RaspberryPi (Rodríguez & Piray, 2017).

- **Arduino:** Es una plataforma de creación electrónica de código abierto, el mismo que está basado en hardware y software libre, flexible y fácil de utilizar para creadores y desarrolladores. Es un microcontrolador donde es posible programar pequeñas aplicaciones para usos concretos. Además, posee la capacidad de conectar muchos componentes y sensores a la placa. El hardware es accesible para cualquier persona que desee crear nuevas versiones de placas. Su costo es bajo. La ejecución de una tarea se lo realiza de forma rápida (jecrespom, 2016).
- **Raspberry Pi:** Desarrollado en hardware libre posee un sistema operativo GNU/Linux como Raspbian, lo cual permite una mayor capacidad para tratar datos y hacer cálculos, posee una mayor limitación de conexión con sensores. Además, se lo puede considerar como un miniordenador que dispone de un sistema operativo completo, donde su funcionamiento requerirá

de un sistema operativo. Mantiene el control sobre la accesibilidad al hardware, impidiendo la creación de nuevas placas por otras personas. Su costo de adquisición es elevado. la compilación de una tarea es más lenta, ya que, necesita de un sistema operativo (jecrespom, 2016).

A partir de este estudio, se elabora la Tabla 2-2, donde se realiza la comparativa de las principales características de la tarjeta Arduino y Raspberry.

Tabla 2-2: Comparación de las tarjetas de desarrollo.

CARACTERISTICAS	NOMBRE	
	Arduino	Raspberry
Tensión Operativa	2.7 - 3.3 - 5V	3.3 - 5V
Corriente DC	40 – 130 mA	0.35 - 1.4 - 2.5 - 3A
Microcontrolador	ATmega 168 - 328 - 2560 - 32u4 – AT91SAM3X8E – 328P	ARM1176JZF-S - Cortex-A7 - Cortex-A53 64-bit
Velocidad de reloj	8 - 16 - 84MHz	700MHz – 1.5-1.2GHz
Microprocesador	_____	Broadcom BCM2837, Cortex-A53 (ARMv8) 64-bit SoC - Broadcom BCM2711B0, quad-core Cortex-A72
Terminales analógicos (con PWM)	4 – 6 – 8 – 12 - 16	_____
Terminales digitales	9 - 14 – 20 - 54	_____
Puertos	USB	1 - 40 GPIO

Realizado por: Dennys Totoy y Gabriela Villacrés, 2021.

De la comparación realizada en la Tabla 2-2 entre las tarjetas de desarrollo Arduino y Raspberry, se determina que Arduino es la tarjeta de desarrollo más adecuada, esto se debe a la capacidad que posee al momento de manejar terminales analógicos y digitales, al consumo de corriente menor y que además su microcontrolador permite un tiempo de ejecución más rápido.

2.3.3 Tipo de Sensores

Los robots que tienen como fin evitar obstáculos, suelen usar dos tipos de sensores. Por un lado, se encuentran los sensores de colisión por contacto en el que el robot detecta un obstáculo una vez que

ha colisionado con él. Y por el otro lado, se encuentran los sensores a distancia con los que el robot recibe una señal cuando encuentra un objeto o una pared.

- **Sensores de colisión:** este sensor funciona con un interruptor. Cuando no se produce ningún choque el sensor envía al Arduino una señal digital “0” y en momento de colisión envía una señal digital de valor 1. La desventaja es que no permite evitar golpes (JULPIN Electrónica Y Robótica, 2016).
- **Sensores a distancia:** este tipo de sensores activan una señal cuando detectan un objeto y otra señal distinta en caso contrario, la ventaja es que al enviar esta señal los sensores no necesitan tocar el objeto. Por tal razón, son muy útiles para evitar la posibilidad de colisiones futuras de un robot (Maritza Nauñay, 2019).
- ❖ **Sensores infrarrojos:** *para este caso el receptor genera una señal digital en nivel bajo cuando ha detectado un obstáculo y en nivel alto cuando no hay nada. Suelen ser sensores de corto alcance, aproximadamente de 5cm. Su composición, consiste básicamente en un transmisor de luz infrarroja y un receptor que sea capaz de detectar los rayos reflejados en una superficie. También poseen un potenciómetro que permite el ajuste del umbral de detección, para ajustar la distancia de detección (Luis Llamas, 2016).*
- ❖ **Ultrasónicos (US):** *Poseen dos pines digitales, trigger que es el encargado de enviar una onda de sonido a una frecuencia determinada y echo que entrega una señal lógica al recibir la señal reflejada. Por tal motivo, la onda sonora sale, rebota en el objeto y regresa. Esto permite calcular la distancia, al medir el tiempo que tarde en regresar el sonido. Son relativamente precisos y al igual que los Sharp también pueden ser clasificados por el alcance que poseen (Lozano, 2019).*
- ❖ **LIDAR (Laser Imaging Detection and Ranging):** *Es un sensor de distancia óptimo de 40metros de alcance, pequeño y liviano, posee un bajo consumo de corriente, además puede ser configurado por el usuario, por lo cual es posible ajustarlo entre precisión, rango operativo y tiempo de medición (Electrónica & Robótica, 2016).*

De la revisión bibliográfica se elabora la Tabla 3-2, la misma que compara las principales características de diferentes tipos de sensores.

Tabla 3-2: Comparación de sensores.

SENSORES	Características					
	Rango de Medición	Angulo de Detección	Error Relativo	Voltaje de Operación	Corriente de Alimentación	Dimensiones
Colisión	_____	_____	_____	1+3-12VDC	_____	21x20mm
Infrarrojo	2-30cm	<35°	_____	3.0-6VDC	23-43mA	4.5x1.4x0.7cm
Ultrasónicos	2-400cm	<15°	±3mm	5VDC	15mA	45x20x15mm
LIDAR	0-4000cm	_____	±25mm	4.75-5-6VDC	105mA	20x48x40mm

Realizado por: Dennys Totoy y Gabriela Villacrés, 2021.

Acorde a la comparación de los tipos de sensores expuesto en la Tabla 3-2, se determina el uso de sensores infrarrojos y ultrasónicos, esto se debe a su consumo de corriente bajo y rangos de medición pequeño y preciso, el cual se puede ajustar a las necesidades del diseño, a diferencia del sensor LIDAR, que cuenta con un rango de medición amplio y su consumo de energía es elevado.

2.3.4 Elementos de Locomoción

El sistema de locomoción es el movimiento que le da al ser humano, animal, organismo, máquina la capacidad de moverse de un lugar a otro, dependiendo de su forma, velocidad, y otros elementos que faciliten su movilidad (Sirpa, 2017).

Existen tres tipos principales de motores que se describen a continuación:

- **Servos:** son motores eléctricos de corriente continua que pueden ser programados para girar un número determinado de grados. El servomotor tiene 3 cables: alimentación, masa y la señal. (Tomi Ruiz, 2017).
- **Motores paso a paso (stepper):** son motores eléctricos que se mueven un paso (determinado número de grados) por cada pulso aplicado, son ideales para construir mecanismos donde se necesita movimientos precisos. (Jose Garcia, 2015).

- **Motores de corriente continua (DC):** son motores eléctricos de corriente continua en los que no existe control sobre el grado en el que giran. Son comunes, donde su funcionamiento se basa en el alineamiento de dos campos magnéticos. Cuando es aplicada una tensión mayor gira más rápido y si es invertida la polaridad gira en sentido contrario (Luis Llamas, 2016).

En base a la revisión bibliográfica, se elabora la Tabla 4-2, donde se desarrolla una comparación entre las principales características de los diferentes tipos de motores.

Tabla 4-2: Comparación de motores.

Tipos de Motores	Características			
	Velocidad	Par	Precisión	Voltaje
DC	Alto	Bajo	Bajo	1 – 12V
DC con reductora	Medio	Alto	Bajo	6 – 12V
Servo	Bajo	Alto	Alto	4.8 – 7.2V
Paso a paso	Medio	Medio	Alto	3.15 - 12V

Fuente: Luis Llamas, 2016.

Realizado por: Dennys Totoy y Gabriela Villacrés, 2021.

Existen diferentes tipos de motores que cumplen con la función de dar movimiento a un robot como se determina en la Tabla 4-2. Por lo que se concluye que, en base al control en velocidad y par, el motor DC con reductora es el motor que más se ajusta a los requerimientos planteados para el diseño e implementación.

2.3.5 Comunicaciones inalámbricas

Son aquellas en la que el emisor y receptor no se encuentran unidos por un medio de propagación físico, sino que se realiza mediante la modulación de ondas electromagnéticas a través del espacio. A continuación, se describe los principales protocolos en el ámbito de la robótica.

- **Wi-Fi:** es un chip de bajo costo con comunicación TCP/IP, capaz de dar acceso wifi a cada microcontrolador, su uso se basa principalmente en el desarrollo de aplicaciones integradas para proyectos de IoT (Internet de las Cosas) (Redacción, 2019).

- **Bluetooth:** corresponde a una especificación industrial para Redes Inalámbricas de Área Personal por sus siglas en inglés (WPANs) que permite la transmisión de voz y datos entre diferentes dispositivos mediante un enlace por radiofrecuencia en la banda ISM de 2.4GHz (Mónica Delgado, 2019).
- **GSM:** estas siglas provienen del nombre en inglés “Sistema Global de Comunicaciones Móviles”. Es un estándar con muchas aplicaciones que supone de un cambio de las comunicaciones analógicas a digitales. Para que este sea operado requiere de una tarjeta SIM (acrónimo en inglés de Subscriber Identity Module), aquí es donde se puede guardar información imprescindible para que el servicio de telefonía funcione adecuadamente (Universidad Internacional de Valencia, 2018).

2.3.6 Elementos de Regulación de Voltaje

Los dispositivos electrónicos necesitan para su correcto funcionamiento un voltaje continuo para operar, el cual no puede ser entregado por una batería alimentada directamente al circuito, debido a que la misma posee un tiempo de operación limitado, el cual a medida que es utilizado entrega valores de voltaje menores, por tal motivo se realiza un estudio de los principales dispositivos de regulación utilizados para la regulación de este voltaje (Freddy Valderrama, 2011).

- **Regulador Buck:** es un convertidor conmutador de potencia DC-DC muy sencillo que genera un voltaje de salida menor al voltaje que ingresa. Su nombre hace referencia a que el inductor siempre trabaja contra el voltaje que ingresa. La tensión de salida es igual al producto del ciclo de trabajo de conmutación y la tensión de alimentación (Microcontroladores, 2018).
- **Regulador Boost:** es un convertidor conmutador de potencia DC-DC capaz de generar un voltaje de salida mayor al voltaje que ingresa, usa las características del inductor y del capacitor como elementos de almacenamiento de energía. El voltaje de salida resulta al dividir el voltaje que ingresa sobre la unidad menos el ciclo de trabajo de conmutación (Freddy Valderrama, 2011).

De acuerdo con la revisión bibliográfica, se desarrolla la Tabla 5-2, donde se realiza una comparación entre las principales características que posee cada regulador.

Tabla 5-2: Comparación de reguladores

Tipos de Características				
Reguladores	Voltaje de Entrada	Voltaje de Salida	Corriente de Entrada máximo	Eficiencia típica
Buck	1.5 hasta 46V	1.25 hasta 35V	3A	-----
Boost	1.5 hasta 16V	4 hasta 25V	2A	80-90%

Realizado por: Dennys Totoy y Gabriela Villacrés, 2021.

Existen diferentes tipos de reguladores en el mercado que cumplen con la función de proporcionar un voltaje DC constante para la alimentación de los diferentes dispositivos electrónicos y basado en la información recolectada en la Tabla 5-2, se concluye que el regulador Buck se ajusta a los requerimientos establecidos para el diseño e implementación, esto se debe a el voltaje de salida y de entrada que tiene.

2.3.7 Algoritmo de Evasión de Obstáculos

Debido a la necesidad de mejorar la autonomía de los robots para minimizar la presencia de la mano del ser humano, es necesario analizar los diferentes algoritmos de evasión de obstáculos, los cuales se citan a continuación.

2.3.7.1 Algoritmo Aleatorio

El robot en un inicio puede avanzar a la derecha o la izquierda, avanzar o retroceder una distancia aleatoria y después moverse a otro lado aleatoriamente, en esta exploración no se tienen ningún tipo de comprensión para la movilización del robot, solo se trata de avanzar a cualquier lado hasta que la distancia se haya logrado o hasta que el robot choque con un objeto. Son fáciles de poner en práctica, pero poseen muy poca efectividad ya que el procesamiento de los datos que se recaban es casi nulo, además desde un principio el robot puede moverse en direcciones no destinadas por lo cual, provoca lapsos de tiempo mayores para que el robot culmine son su operación (Borja, 2013).

2.3.7.2 Algoritmo de Tarry

Este tipo de algoritmo elabora un camino cíclico en un laberinto movilizándose en cada dirección una sola vez. Dando inicio en un lugar A, desarrolla una trayectoria cualquiera y lo señala de manera

especial, lo haya o no visitado al igual que sucede en los cruces. El algoritmo permite que el robot termine en el lugar de inicio (Acuña & Paredes, 2006).

2.3.7.3 Algoritmo de la mano derecha y la mano izquierda

El presente algoritmo se basa en seguir una pared del laberinto (izquierda o derecha), dando como resultado la efectividad en casi todos los casos, se conozca o no el área. De esta manera se asegura que la exploración ejecutada por el robot es óptima, el robot se desplaza por lo menos una vez por un camino desconocido del área y lo hace de forma ordenada, dado que siempre tomara las mismas decisiones. Sus desventajas principales son, el no poder resolver laberintos no conectados y por otro lado la trayectoria que siguen para poder encontrar la salida no resulta ser optima, dado que recorre todos los lugares hasta encontrar la salida (Borja, 2013).

En el gráfico 1-2, se muestra el pseudocódigo del algoritmo de la mano derecha y la mano izquierda, donde se ilustra en forma resumida un ejemplo de funcionamiento.

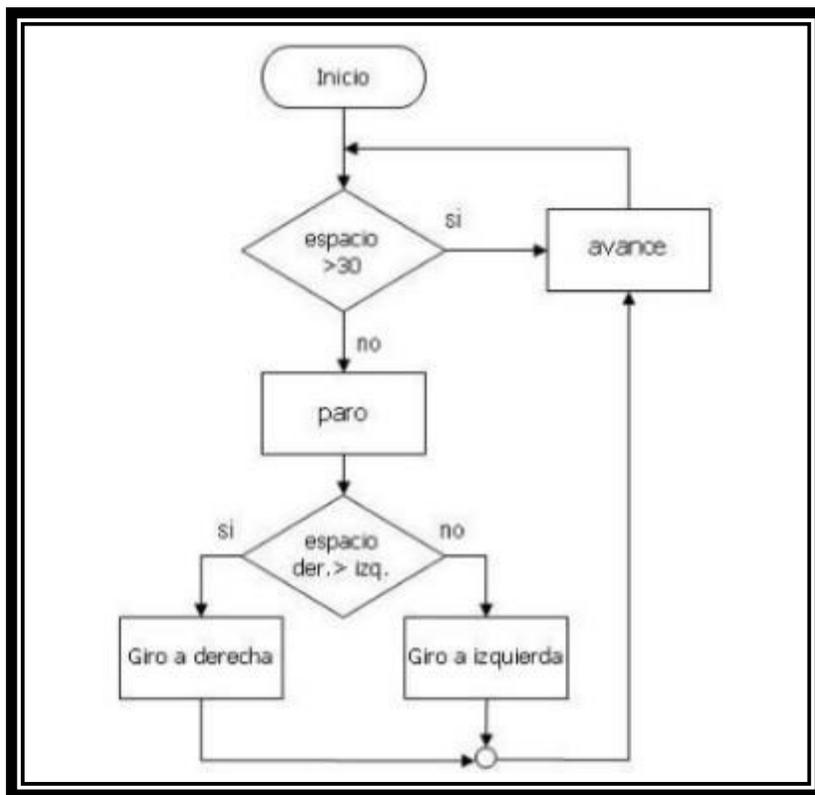


Gráfico 1-2: Algoritmo de la mano derecha y la mano izquierda.

Fuente: Santillan, 2014.

2.3.7.4 Algoritmo de Automatización para un Robot Móvil

En la figura 10-2, se muestra el punto inicial del robot, el cual se encuentra en un área, posición y orientación desconocida, el primer paso a ejecutar es ubicarse frente a una pared plana y de gran tamaño (Soler, 2015).

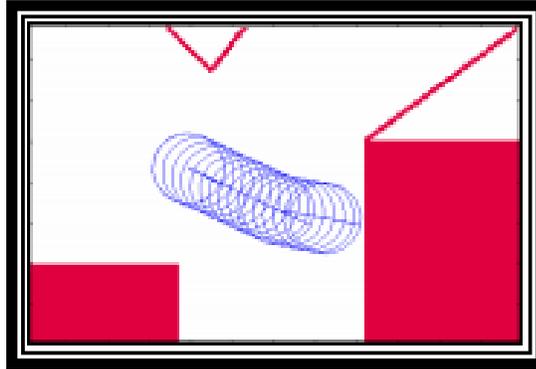


Figura 10-2: Posicionamiento inicial.

Fuente: Soler, 2015.

El siguiente paso es determinar la posición y ángulo en el área. A través de las medidas del sensor IR rotativo del robot, el cual permite desarrollar cálculos trigonométricos para encontrar la siguiente pared y así ejecutar el cumplimiento de los requerimientos del robot. Además de permitirle tener la capacidad de evitar obstáculos cuando no encuentre una pared plana y tenga que avanzar hasta que encuentre una (Soler, 2015).

Posterior a que el robot se encuentre situado en frente de una pared se da inicio a una nueva etapa. Donde el objetivo es ubicar al robot en paralelo a la pared detectada, esto es posible al colocarlo a una determinada distancia dada por la medida del sensor IR rotativo. Cuando el robot se encuentre a la distancia indicada mediante un barrido realizado en el sensor IR realizará un giro de 90 grados y se ubicará en paralelo a la pared (Soler, 2015).

En la figura 11-2, se describe el recorrido del robot cuando este paralelo a la pared y puede comenzar la tercera o última etapa donde el objetivo es recorrer el entorno de la habitación (Soler, 2015).

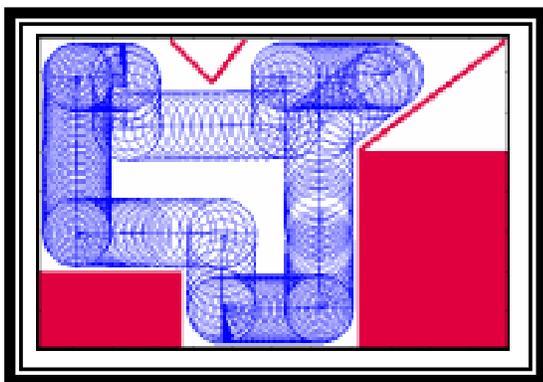


Figura 11-2: Recorrido de la habitación.

Fuente: Soler, 2015.

Basado en la información recabada, sobre los diferentes tipos de algoritmos para evasión de obstáculos, se concluye que el algoritmo de la mano derecha y la mano izquierda para un robot móvil cumple con los requerimientos necesarios para el diseño e implementación, además se utiliza características del algoritmo de Tarry como: un recorrido cíclico, un punto de partida y al menos debe cubrir una vez toda la superficie desconocida, por lo tanto el algoritmo a desarrollar en el presente trabajo es un híbrido de los algoritmos anteriormente mencionados.

CAPITULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

En el presente capítulo se realiza una concepción general del sistema para la creación de un robot autónomo para desinfección de superficies mediante luz UV, que de aquí en adelante se lo llamara RDUV-C, se hace un análisis de los requerimientos para el diseño, la selección de los dispositivos electrónicos que conformaran el *software* y *hardware* del sistema, además se detalla cada etapa.

3.1 Requerimientos para la creación del RDUV-C.

Posterior al estudio realizado en el capítulo anterior, es necesario establecer los requerimientos para la creación del RDUV-C, los cuales se describen a continuación:

- Capacidad de moverse en superficies planas en un área determinada.
- Mostrar el estado de porcentaje de batería y encendido mediante diodos led.
- Contar con una estructura compacta y cerrada para evitar fugas de luz UV-C.
- Transmitir información desde los sensores hacia el sistema de control para la detección y evasión de obstáculos presentes en la superficie.
- Mantener durante 30 segundos la luz UV-C encendida sobre la superficie a desinfectar, como indica el fabricante.
- Batería que permita una autonomía de desplazamiento máxima de 1 hora y 30 minutos.
- Protección para daños visuales de la luz UV.
- Ser de bajo costo, fácil operación y manipulación.

3.2 Consolidación general del RDUV-C.

En la figura 1-3 (a), (b) y (c), se observa la consolidación general del RDUV-C, el cual constara de 3 etapas, las mismas que se describen a continuación:

- **La primera etapa:** consta de la luz UV-C que se encarga de realizar la desinfección, un chasis como soporte de los elementos electrónicos que componen el sistema, el cual se moverá en superficies planas mediante el sistema de locomoción que lo conforman los actuadores (ruedas),

una parte del bloque de adquisición de datos el cual dependerá de los sensores ultrasónicos, sensor CNY70 (permite el retorno a casa) y el sensor Sharp, el cual permite detectar la superficie para evitar posibles fugas de luz UV-C, además se encuentra aquí el bloque de alimentación principal y secundario.

- **La segunda etapa:** está conformada por la tarjeta de desarrollo, el cual enviara las órdenes a los actuadores, dependiendo de las señales que emitan los sensores: ultrasónicos e infrarrojos, estas señales a su vez evitarán colisionar con los obstáculos que se encuentren presentes en la superficie de trabajo, un bloque de control de motores y dos Relés que permitirán la activación o desactivación de la luz UV-C.
- **La tercera y última etapa:** permite a través del bloque de visualización ver el estado de encendido o apagado y el estado de energía de la batería.

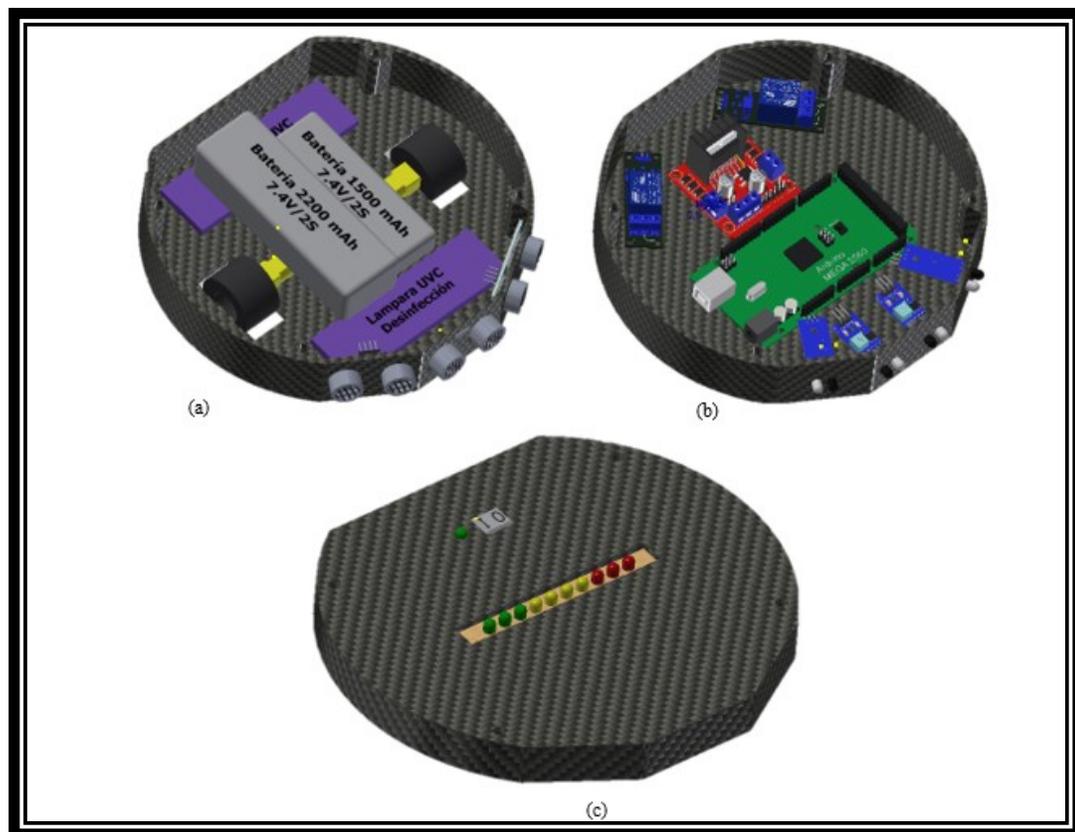


Figura 1-3: Consolidación General del RDUV-C: (a) primera etapa, (b) segunda etapa y (c) tercera etapa.

Realizado por: Dennys Totoy, Gabriela Villacrés, 2021.

3.3 Arquitectura de *hardware* del RDUV-C

Está conformado por la *etapa de obtención de datos* donde se encuentran los sensores de distancia, los cuales se encargan de enviar la información del entorno hacia la *etapa de procesamiento*. Esta a su vez contiene a la tarjeta de desarrollo Arduino Mega 2560, la cual se encarga de recibir la información que provienen de los sensores y que además contiene la programación del algoritmo encargado de realizar la detección y evasión de obstáculos, con el fin de proporcionar el movimiento al sistema de locomoción y la activación de la *etapa de desinfección*. En la parte de locomoción se lleva a cabo el sentido de giro del movimiento para la evasión de obstáculos, mientras que en el bloque de desinfección dependiendo de la orden se realiza la activación o desactivación de la Luz UV-C. La *etapa de visualización* se desarrolla mediante indicadores que muestran el estado de energía que cuenta la *etapa de alimentación*, cuyo objetivo es suministrar la energía necesaria para que cada etapa funcione. En la figura 2-3, se muestra la arquitectura del RDUV-C

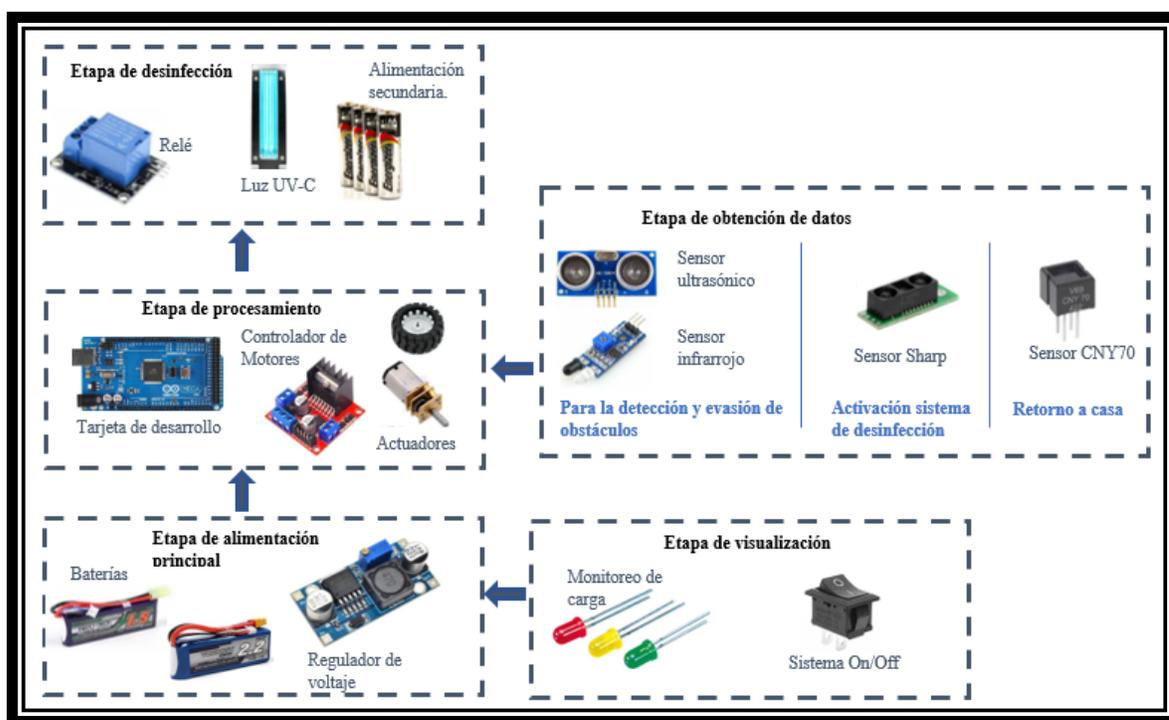


Figura 2-3: Arquitectura de *hardware* del RDUV-C.

Realizado por: Dennys Totoy, Gabriela Villacrés, 2021.

3.4 Diseño de las etapas de *hardware* del RDUV-C

Una vez realizada la arquitectura del RDUV-C, se procede a desarrollar un análisis del funcionamiento que comprende cada etapa del sistema.

3.4.1. Etapa de alimentación principal

Esta etapa se encarga de suministrar energía a los componentes electrónicos que conforman el RDUV-C, exceptuando al sistema de desinfección que tiene alimentación propia. Este posee un regulador de tensión que permite reducir y mantener un voltaje estable, capaz de permitir el funcionamiento de la tarjeta de desarrollo y el control de motores.

3.4.2. Etapa de obtención de datos

Tiene como función recibir las señales emitidas por los sensores para: evasión y detección de obstáculos, activación del sistema de desinfección y el retorno a casa, a la tarjeta de desarrollo que conforma la etapa de procesamiento, donde se transforma estas señales recibidas a valores de medición. Permitiendo así un estado real del entorno alrededor de la superficie. En el gráfico 1-3, se observa el diagrama de bloques para el sistema.

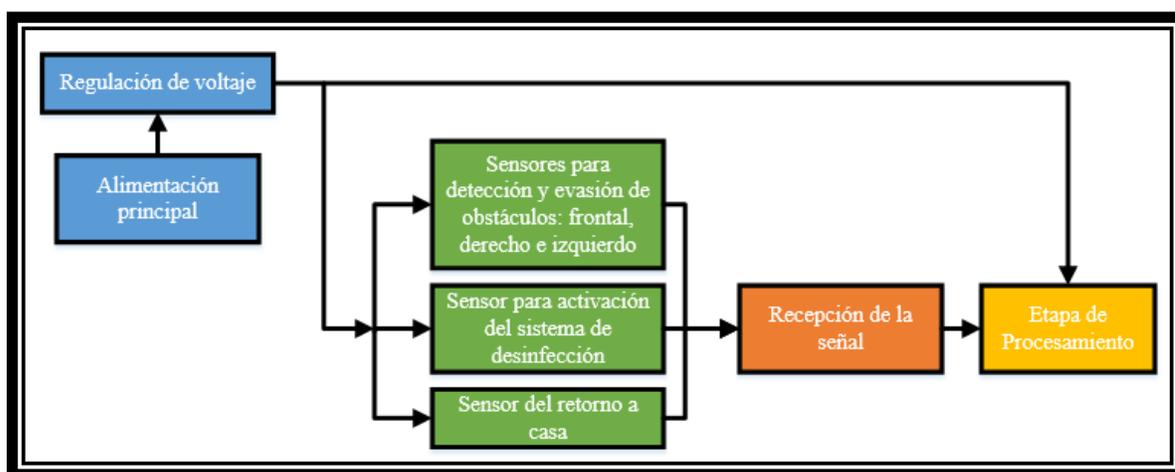


Gráfico 1-3: Diagrama de bloques de la adquisición de datos.

Realizado por: Dennys Totoy, Gabriela Villacrés, 2021.

3.4.3. Etapa de procesamiento

En el gráfico 2-3 se muestra el diagrama de bloques para el procesamiento de las distintas señales emitidas por el bloque de adquisición de datos conformado por los sensores. Posterior a su procesamiento, la tarjeta de desarrollo procesa y envía señales de salida al controlador de motores para su movimiento.

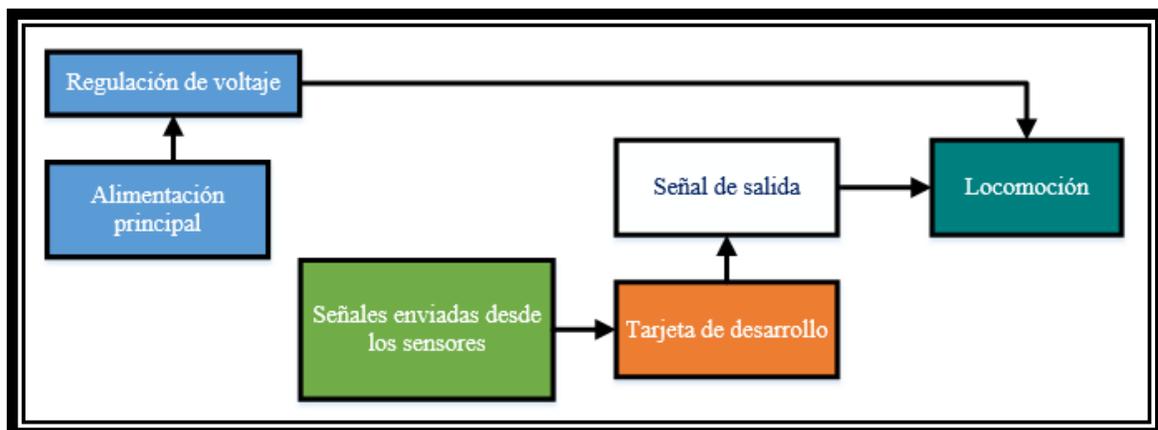


Gráfico 2-3: Diagrama de bloques de procesamiento.

Realizado por: Dennys Totoy, Gabriela Villacrés, 2021.

3.4.5. Etapa de desinfección

Esta etapa posee alimentación propia, permitiendo realizar la tarea de activación o desactivación del sistema de desinfección en superficies, dependiendo de la señal emitida en la etapa de procesamiento. En el gráfico 3-3, se indica el diagrama de bloques de desinfección.

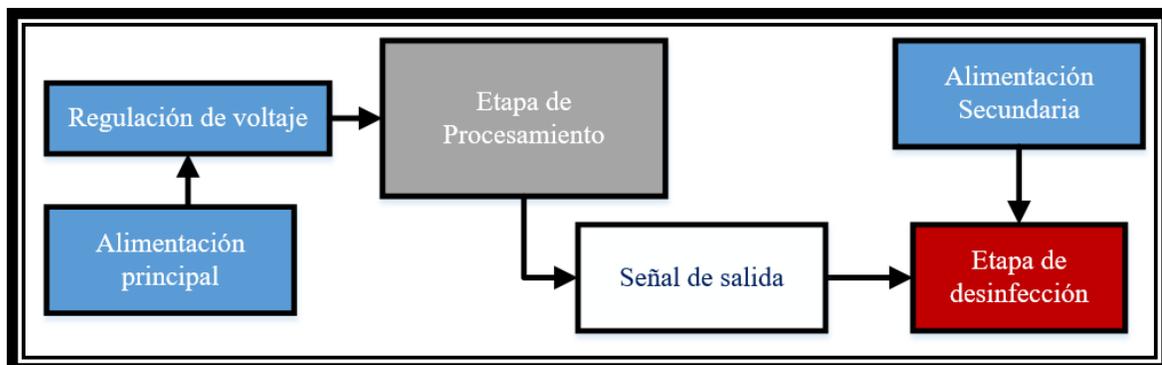


Gráfico 3-3: Diagrama de bloques de desinfección.

Realizado por: Dennys Totoy, Gabriela Villacrés, 2021.

3.4.6. Etapa de visualización

Como se indica en el gráfico 4-3, el bloque de interfaz de visualización tiene como función indicar Bloque de visualización el nivel de energía que tiene la batería.

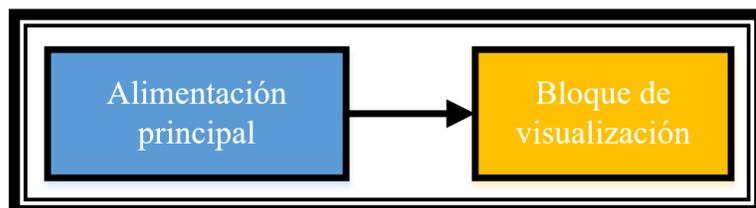


Gráfico 4-3: Diagrama de bloques de visualización.

Realizado por: Dennys Totoy, Gabriela Villacrés, 2021.

3.5 Selección de componentes de *hardware* para la construcción del RDUV-C

Posterior al análisis de los requerimientos para el desarrollo e implementación del RDUV-C y la definición de cada bloque que comprende el sistema, se dispone a seleccionar los componentes apropiados para el funcionamiento.

3.5.1 Dispositivos para la desinfección

3.5.1.1 Lámpara UV-C para desinfección

Genera una tasa de esterilización del 99.9%, con una amplia vida útil. Es una opción para desinfección que no requiere químicos. En la figura 3-3 se indica el modelo de lámpara UV-C utilizada en el RDUV-C (ECD VETERINARIA LTDA, 2019).



Figura 3-3: Lámpara UV-C para desinfección.

Realizado por: Dennys Totoy, Gabriela Villacrés, 2021.

En la Tabla 1-3 se detallan las principales especificaciones técnicas de la lampara UV-C para la desinfección desarrollada por el RDUV-C.

Tabla 1-3: Especificaciones técnicas: Lampara UV-C para desinfección.

Principales especificaciones técnicas	Rango
Modelo	UV-500
Voltaje	5VDC
Corriente	600mA
Potencia	3W
Longitud de onda	253.7nm (UV-C)
Tamaño	125*35*28mm

Fuente: ECD VETERINARIA LTDA, 2019.

Realizado por: Dennys Totoy y Gabriela Villacrés, 2021.

3.5.1.2 Relé Arduino 5V DC

Es un interruptor, mecánico operado eléctricamente que puede encender o apagar algún elemento, a través del paso de corriente, con un control a bajos voltajes, como 5VDC. En la figura 4-3 se indica el modelo de Relé Arduino 5V DC a emplear en el RDUV-C (Master INNOVACIÓN QUE SE VIVE, 2015).



Figura 4-3: Relé Arduino 5VDC.

Realizado por: Dennys Totoy, Gabriela Villacrés, 2021.

En la Tabla 2-3 se describen las principales especificaciones técnicas del relé Arduino 5VDC para la activación o desactivación del sistema de desinfección del RDUV-C.

Tabla 2-3: Especificaciones técnicas: Relé Arduino 5VDC.

Principales especificaciones técnicas	Rango
Voltaje	5 - 12VDC
Corriente	10A
Tiempo de activación	5 – 10ms
Tamaño	40*27*18mm
Peso	14g

Fuente: Master INNOVACIÓN QUE SE VIVE, 2015.

Realizado por: Dennys Totoy y Gabriela Villacrés, 2021.

3.5.2 Dispositivo de obtención de datos

Se encuentra compuesto por los sensores cuya finalidad es la adquisición de datos del entorno de la superficie de trabajo para el prototipo RDUV-C.

3.5.2.1 Sensor ultrasónico HC-SR04

Son sensores cuyo objetivo es medir distancia mediante el uso de ondas ultrasónicas, estas ondas son emitidas a través del terminal disparador o trigger, una vez que llega al objeto, esta señal rebota y es receptada por el terminal receptor o echo. Conociendo el tiempo que tarda en ir y regresar la onda ultrasónica se puede determinar la distancia. Entre sus caracterizas más relevantes se tienen: un sensor de bajo costo, tamaño pequeño, fácil de usar, bajo consumo energético, buena precisión y al alcance de todos (NAYLAMP MECHATRONICS, 2015). En la figura 5-3 se indica el modelo del sensor ultrasónico comercial HC-SR04.

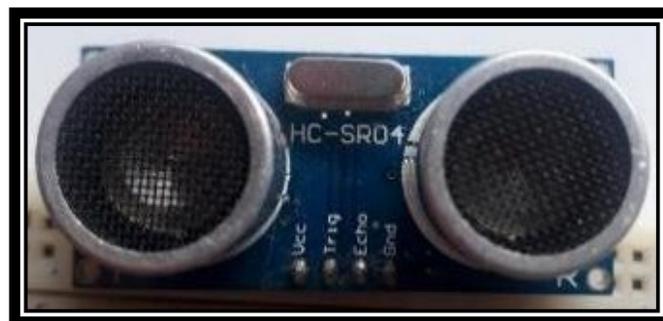


Figura 5-3: Sensor ultrasónico HC-SR04.

Realizado por: Dennys Totoy, Gabriela Villacrés, 2021.

En la Tabla 3-3 se desarrolla las principales especificaciones técnicas sobre el sensor ultrasónico HCSR04, a implementar en el desarrollo del RDUV-C, para la detección y evasión de obstáculos.

Tabla 3-3: Especificaciones técnicas: Sensor ultrasónico HC-SR04.

Principales especificaciones técnicas	Rango
Voltaje de operación	5VDC
Corriente de trabajo	15mA
Precisión	+3mm
Rango de Distancia	2 – 450cm
Frecuencia de ultrasonido	40Khz
Ángulo de apertura	15°

Fuente: NAYLAMP MECHATRONICS, 2015.

Realizado por: Dennys Totoy y Gabriela Villacrés, 2021.

3.5.2.2 Sensor infrarrojo de distancia Sharp GP2Y0D810Z0F

Es un sensor pequeño que mide la distancia de forma digital, posee un tiempo de respuesta rápido, bajo consumo de corriente y una distancia de detección corta. En la figura 6-3 se indica el modelo de sensor infrarrojo Sharp GP2Y0D810Z0F (MAYLAMP MECHATRONICS, 2015). Para más información diríjase a la cita bibliográfica: (ALLDATASHEET, 2017).



Figura 6-3: Sensor infrarrojo de distancia Sharp GP2Y0D810Z0F.

Realizado por: Dennys Totoy, Gabriela Villacrés, 2021.

En la Tabla 4-3 se detallan las principales especificaciones técnicas del sensor de distancia infrarrojo Sharp GP2Y0D810Z0F, el cual determinara la activación del sistema de desinfección del RDUV-C, cuando este se encuentre sobre la superficie de trabajo.

Tabla 4-3: Especificaciones técnicas: Sensor infrarrojo Sharp GP2Y0D810Z0F.

Principales especificaciones técnicas	Rango
Voltaje de operación	2.7 – 6.2VDC
Corriente de trabajo	5mA
Precisión	0.5 -5cm
Frecuencia	390Hz
Peso	1.5g
Dimensión	21.59*8.89*10.41mm
Tipo de salida	Digital

Fuente: MAYLAMP MECHATRONICS, 2015.

Realizado por: Dennys Totoy y Gabriela Villacrés, 2021.

3.5.2.3 Sensor Infrarrojo CNY70

Es un sensor óptico, posee un rango de corto alcance, donde su principal función es medir la reflexión en superficies. Posee cuatro terminales (1, 2 son para el emisor y los terminales 3 y 4 son para el foto-transistor). La figura 7-3 muestra el modelo de un sensor infrarrojo CNY70 (HETPRO, 2017). Para más información diríjase a la cita bibliográfica: (VISHAY, 2021).



Figura 7-3: Sensor infrarrojo CNY70

Realizado por: Dennys Totoy, Gabriela Villacrés, 2021.

En la Tabla 5-3 se detallan las principales especificaciones técnicas del sensor infrarrojo CNY70, que se implementara en el RDUV-C para el retorno a casa.

Tabla 5-3: Especificaciones técnicas: Sensor infrarrojo CNY70.

Principales especificaciones técnicas	Rango
Voltaje de operación	5VDC
Corriente de trabajo	1mA
Distancia de funcionamiento máximo	<0.5mm
Longitud de onda del emisor	950nm
Tipo de detector	fototransistor
Dimensión	7*7*6mm
Tipo de salida	Analógico

Fuente: VISHAY, 2021.

Realizado por: Dennys Totoy y Gabriela Villacrés, 2021.

3.5.2.4 Módulo de Sensor infrarrojo IR FC-51

Es un detector de obstáculos que determina la presencia de un objeto mediante la reflexión que produce en la luz, es capaz de actuar a una distancia corta, la cantidad de luz infrarroja recibida depende del color, material, forma y posición del obstáculo, dispone el módulo de un potenciómetro que permite al usuario ajustar el rango de detección. La figura 8-3, se indica el modelo de un módulo de sensor infrarrojo comercial IR FC-51 (MGSYSTEM, 2018).

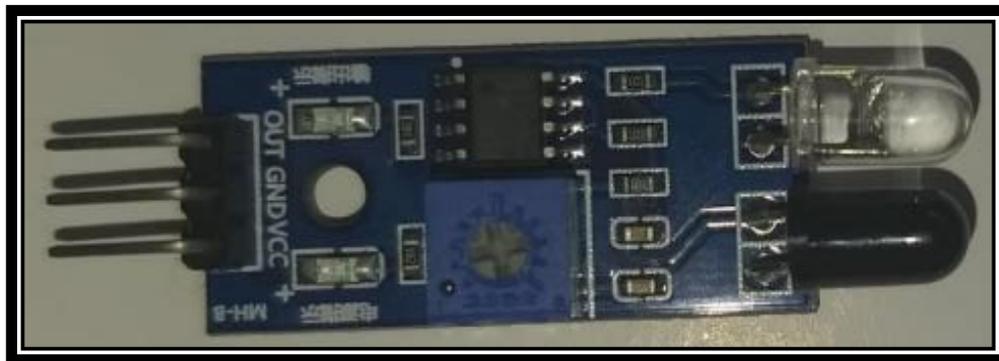


Figura 8-3: Módulo sensor infrarrojo IR FC-51.

Realizado por: Dennys Totoy, Gabriela Villacrés, 2021.

En la Tabla 6-3 se detallan las principales especificaciones técnicas del módulo de sensores infrarrojo IR FC-51, a implementar en el RDUV-C para la detección y evasión de obstáculos.

Tabla 6-3: Especificaciones técnicas: Módulo sensor infrarrojo IR FC-51.

Principales especificaciones técnicas	Rango
Voltaje de operación	3 - 6VDC
Corriente de trabajo	23 - 43mA
Precisión	2 -30cm
Angulo de cobertura	35°
Dimensión	45*14*07mm
Tipo de salida	Digital

Fuente: MGSYSTEM, 2018.

Realizado por: Dennys Totoy y Gabriela Villacrés, 2021.

3.5.3 Dispositivos de procesamiento

La finalidad de este tipo de dispositivos es procesar o decodificar información. Esto es posible a través de microcontroladores o microprocesadores que son componentes principales en diferentes aplicaciones embebidas, son capaces de controlar elementos de entrada/salida y ejecutar cualquier programa cargado en memoria (Carrasco, 2018).

3.5.3.1 Arduino Mega 2560

La tarjeta de desarrollo de Arduino Mega 2560, tiene 54 terminales de entrada/salida digital de los cuales 15 poseen salidas PWM, 16 entradas analógicas, lo cual permite manejar mayor número de entradas y salidas al realizar algún proyecto. La figura 9-3 indica el modelo de la tarjeta de desarrollo de Arduino Mega 2560 (Arduino, 2017b).



Figura 9-3: Tarjeta de desarrollo de Arduino Mega 2560.

Realizado por: Dennys Totoy, Gabriela Villacrés, 2021.

En la Tabla 7-3 se detallan las principales especificaciones técnicas del Arduino Mega 2560, que permitirán al RDUV-C procesar la información adquirida por los sensores y determinar el proceso a ejecutar.

Tabla 7-3: Especificaciones técnicas: Arduino Mega 2560.

Principales especificaciones técnicas	Arduino Mega 2560
Microcontrolador	ATmega2560
Tensión operativa	5VDC
Tensión de entrada recomendada	7-20VDC
Límites de tensión	6-20VDC
Corriente DC por pin I/O	40Ma
Memoria flash	256KB
SRAM	8KB
EEPROM	4KB
Velocidad de reloj	16MHz
Terminales digitales I/O (con PWM)	54(14)
Terminales analógicos	16
Interrupciones externas	6(2,3,18,19,20 Y 21)
Two-Wire Interface /Inter-Integrated circuit (TWI/12C)	2(20 Y 21)

Fuente: Arduino, 2017a.

Realizado por: Gabriela Villacrés, Dennys Totoy; 2021.

3.5.4 Dispositivos de Visualización

El propósito de estos elementos es indicar el funcionamiento y estado de la batería. Esto a través de diodos led y circuitos de monitoreo de energía.

3.5.4.1 Diodos led

Los diodos emisores de luz o también conocidos por sus siglas en inglés LED (ligh-emitting diode), son fuentes de emisión de luz que emiten fotones cuando reciben una polarización directa de conducción de energía, de acuerdo con la tensión de la polarización del diodo led se puede aumentar

o disminuir la intensidad lumínica emitida. La figura 10-3 indica los diodos led (Mecatrónica LATAM, 2016).

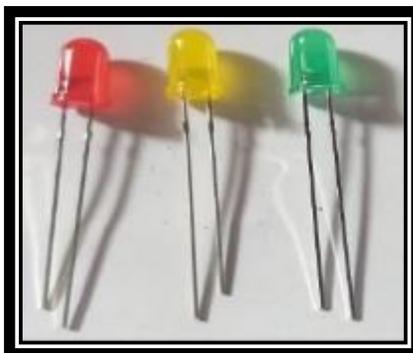


Figura 10-3: Diodos Led: verde, amarillo y rojo.

Realizado por: Dennys Totoy, Gabriela Villacrés, 2021.

En la Tabla 8-3 se indica los colores y sus valores de caída de tensión y corriente correspondientes.

Tabla 8-3: Caída de tensión y corriente de los Diodos Emisores de Luz.

Color	Tensión (VDC)	Corriente (A)
Blanco	3.6 – 4.0	0.02
Azul	3.5 – 3.8	0.02
Verde	2.0 – 3.5	0.015
Amarillo	2.0 – 2.4	0.015
Tomate	2.0 – 2.2	0.02
Rojo	1.8 – 2.2	0.015

Fuente: Arduino, 2017a.

Realizado por: Gabriela Villacrés, Dennys Totoy; 2021.

3.5.4.2 Circuito Integrado LM3914 N-1

Este elemento se utiliza como indicador de escala y voltímetro. Es capaz de medir voltajes analógicos que entrega la batería y puede controlar hasta 10 diodos leds de forma individual. En la figura 11-3 se indica el circuito integrado LM3914 N-1 usado para el monitoreo de carga de la batería del robot y en la Tabla 9-3 se describe las principales especificaciones técnicas usadas para el desarrollo del

prototipo RDV-C (Administrador, 2020). Para más detalles consulte la siguiente cita bibliográfica (ALLDATASHEET, 2017b).

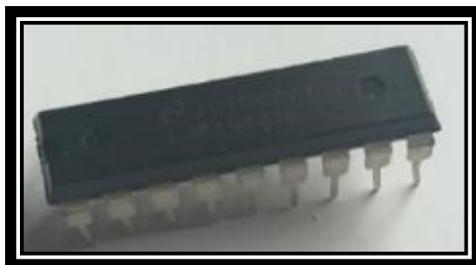


Figura 11-3: Circuito Integrado LM3914 N-1.

Realizado por: Dennys Totoy, Gabriela Villacrés, 2021.

En la Tabla 9-3, se realiza la descripción de las principales especificaciones técnicas que tiene el circuito integrado LM3914 N-1, el cual permitirá visualizar el estado de carga del RDUV-C.

Tabla 9-3: Especificaciones técnicas: Circuito Integrado LM3914 N-1.

Principales especificaciones técnicas	Rango
Voltaje de Entrada	1.2 – 12VDC
Corriente	30mA
Número de Salidas	10
Tipo de Control	Analógico
Rango de Temperatura	0 – 70 °C

Fuente: Administrador, 2020.

Realizado por: Dennys Totoy y Gabriela Villacrés, 2021.

3.5.5 Dispositivos de Locomoción

Los elementos que intervienen en el sistema de locomoción son: el control y desplazamiento de motores, los cuales se dispone a analizar a continuación.

3.5.5.1 Módulo Puente H L298N para control de motores

Es una tarjeta controladora de dos motores de DC, que cuenta con un circuito L298N, el cual tiene un disipador para así evitar sobrecalentamiento. El módulo permite controlar el sentido de giro y

velocidad a través de señales TTL que se pueden obtener del microcontrolador o tarjeta de desarrollo. La figura 12-3 indica el modelo del módulo puente H L298N para control de motores (Electronilab, 2017). Para más detalles consultar en la siguiente cita bibliográfica (DUAL FULL- BRIDGE DRIVER, 2000).



Figura 12-3: Módulo Puente H L298N para control de motores.

Realizado por: Dennys Totoy, Gabriela Villacrés, 2021.

En la Tabla 10-3, se describe las principales especificaciones técnicas que posee el Módulo Puente H L298N, que sirven para el desarrollo del PRDUV-C utilizados en el control de motores DC Polulo 10:1.

Tabla 10-3: Especificaciones técnicas: Módulo Puente H L298N.

Principales especificaciones técnicas	Rango
Control máximo	2 motores (3 – 30VDC)
Corriente máxima	500mA – 2A
Voltaje de operación	Mínimo 5V
Niveles de voltaje lógicos	4.5 – 5.5 V (Alto) / 0V (Bajo)
Potencia	20W
Entradas de control	6
Dimensiones	4.3*4.2*2.5cm
Peso	26g

Fuente: Electronilab, 2017.

Realizado por: Dennys Totoy y Gabriela Villacrés, 2021.

3.5.5.2 Motores DC Pololu 10:1

Es pequeño e ideal para diferentes aplicaciones. Este motorreductor es un motor de DC cepillado de 12V de alta potencia, con escobillas de carbón de larga duración y una caja de cambios metálica de 9.96:1. Posee una sección transversal de 10 x 12mm y un eje de salida de la caja de cambios en forma de D tienen 9mm de largo y 3mm de diámetro. En la figura 13-3 indica el modelo del motor DC Pololu 10:1 (Pololu ROBOTICS & ELECTRONICS, 2015).



Figura 13-3: Motores DC Pololu 10:1.

Realizado por: Dennys Totoy, Gabriela Villacrés, 2021.

En la Tabla 11-3 se explica las principales especificaciones técnicas del Motor DC Pololu 10:1. para el desplazamiento RDUV-C en la superficie de trabajo.

Tabla 11-3: Especificaciones técnicas: Motor DC Pololu 10:1.

CARACTERISTICAS	MOTOR
Voltaje	6VDC
Rendimiento sin carga	3100RPM, 70mA
Velocidad sin carga	100RPM
Peso	6.4g

Fuente: Pololu ROBOTICS & ELECTRONICS, 2015.

Realizado por: Dennys Totoy y Gabriela Villacrés, 2021.

3.5.6 Dispositivos de alimentación

La batería es seleccionada considerando valores teóricos de corriente llegando a un total de 1100mA, según la tabla de cada uno de los elementos a utilizar. Por lo tanto, de acuerdo al consumo de corriente

del prototipo RDUV-C, se requiere de una batería lipo de 7.4V a 1500mA y otra de 7.4V a 2200mA las cuales permiten el funcionamiento de cada etapa, la conexión de las baterías será en serie con el fin de aumentar su valor de voltaje pero no su valor de corriente, a la salida de la batería se encontrará el Regulador Buck DC-DC Step Down LM2596 para establecer un voltaje y corriente estable que será necesario para realizar un continuo funcionamiento durante aproximadamente una hora y media, el regulador se encontrara en un voltaje promedio de 8VDC a su salida. Cabe indicar que la batería secundaria se encuentra conformada por 4 pilas AAA conectadas en serie, las mismas que permiten el funcionamiento de la luz UV-C. En la figura 14-3, se indica la batería lipo de 7.4V a 1500mA y la batería de 7.4V a 2200mA, respectivamente utilizadas para la alimentación principal del RDUV-C.



Figura 14-3: Batería Lipo 7,4v a 1500Ma Y Batería Lipo 7,4v 2200mA.

Realizado por: Dennys Totoy, Gabriela Villacrés, 2021.

3.5.6.1 Dispositivos Regulador Buck DC-DC ajustable Step Down LM2596.

El circuito permite tener un voltaje regulado a partir de una fuente de alimentación con un voltaje superior, por ejemplo, si se tiene una fuente de 12VDC puede regular a 5-3.3-2.2...VDC. Con aplicaciones en microcontroladores con: Arduino, PICs, Raspberry Pi, fuentes variables, drivers para leds, etc. Es un circuito integrado monolítico adecuado para el diseño fácil y conveniente de una fuente de conmutación tipo Buck. Puede llegar a conducir corrientes de hasta 3A. La figura 15-3, indica el dispositivo a utilizar en el prototipo RDUV-C (AVElectronics, 2016). Para más información revisar la siguiente cita bibliográfica (ALLDATASHEET, 2017).

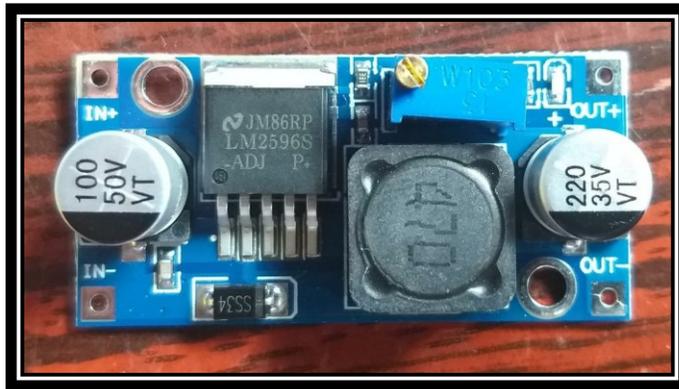


Figura 15-3: Regulador Buck DC-DC Step Down LM2596.

Realizado por: Dennys Totoy, Gabriela Villacrés, 2021.

En la Tabla 12-3, se explica las principales especificaciones técnicas del Regulador Buck DC-DC Step Down LM2596, el cual permite enviar a los elementos electrónicos del RDUV-C un voltaje constante.

Tabla 12-3: Especificaciones técnicas: Regulador Buck DC-DC Step Down LM2596.

CARACTERISTICAS	MOTOR
Voltaje de Entrada	4.5-40VDC
Voltaje de Salida	1.5-35VDC (Ajustable)
Corriente de salida	Máxima 3A
Dimensiones	43*20*14mm
Frecuencia de switching	150kHz

Fuente: AVElectronics, 2016.

Realizado por: Dennys Totoy y Gabriela Villacrés, 2021.

3.6 Diagrama de conexión para el RDUV-C

A continuación, se detalla el diagrama de conexión electrónico, sus componentes y terminales de cada elemento.

- La etapa de alimentación se conforma por una batería lipo de 7.4V a 1500mA y otra de 7.4V a 2200mA, estas se encontraran conectadas hacia: el circuito indicador del estado de voltaje y el Regulador Buck DC-DC Step Down LM2596 cuyo circuito proporciona un voltaje de salida

estable de 8VDC, este voltaje alimenta tanto al Módulo Puente H L298N para el control de motores como al Arduino Mega 2560, el cual a su vez proporciona la alimentación necesaria para cada elemento electrónico, dispone de un switch para encendido o apagado.

- La alimentación de cada elemento electrónico que conforma el circuito se realiza mediante una placa PCB, el cual distribuye la energía de 5VDC emitida por la tarjeta de desarrollo de Arduino Mega 2560.
- La tarjeta de desarrollo de Arduino Mega 2560 es el encargado de recibir y procesar las señales que provienen desde los sensores: Sharp GP2Y0D810Z0F, infrarrojo CNY70, infrarrojos IR FC-51 y ultrasónicos HC-SR04, además controla el sentido de giro del motor al igual que su velocidad, con la conexión al Módulo Puente H L298N.
- El Módulo Puente H L298N para control de motores es el encargado del desplazamiento sobre la superficie.
- Los sensores Infrarrojos IR FC-51 se encuentran conectados a las terminales digitales (28, 29, 30 y 31) del Arduino Mega 2560, estos permiten detectar cualquier obstáculo que se encuentre en la parte frontal, izquierda y derecha a una distancia de 6cm con una variación de 2 a 3cm dependiendo del color del objeto.
- Los sensores Ultrasónicos HC-SR04 se encuentran ubicados en la parte frontal, izquierda y derecha, estos a su vez emiten una señal mediante los terminales trigger y echo del sensor a los terminales digitales (2, 3, 4, 5, 6 y 7) del Arduino Mega 2560.
- El sensor Sharp GP2Y0D810Z0F se conecta al terminal digital 22 del Arduino Mega 2560, este se encuentra direccionado hacia la superficie a desinfectar y así determinar por medio de los Relés el encendido o apagado de las lámparas UV-C.
- El sensor infrarrojo CNY70 se encuentra en la parte frontal inferior, este emite una señal al Arduino Mega 2560 mediante el terminal analógico A0, para indicar el retorno a casa del robot.
- La batería secundaria se encuentra conectada a la salida NO del relé para así administrar la alimentación a las lámparas UV-C.

En la figura 16-3 se indica el diagrama de conexión de todos los elementos electrónicos que conforman el *hardware* del RDUV-C.

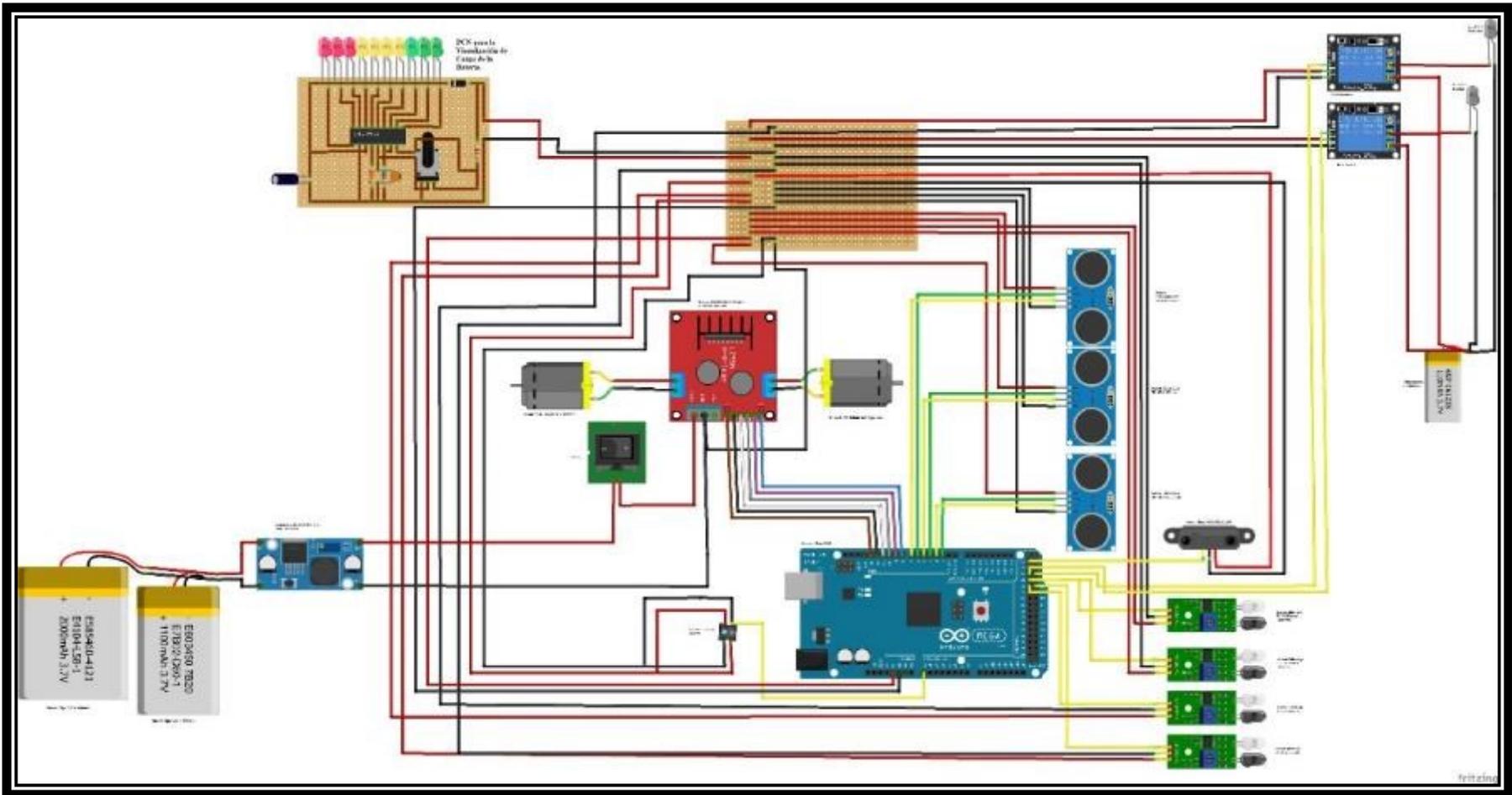


Figura 16-3: Diagrama de conexiones del procesador central.

Realizado por: Dennys Totoy y Gabriela Villacrés, 2021.

En la Tabla 13-3, se detallan los terminales de conexión de todos los elementos electrónicos al Arduino Mega 2560, que conforman el hardware del prototipo de robot.

Tabla 13-3: Tabla de conexión de terminales y elementos electrónicos.

Terminales del Arduino Mega 2560	Módulos
PWM	Sensor Ultrasónico HC-SR04 Frontal
4	Trig
5	Echo
PWM	Sensor Ultrasónico HC-SR04 Izquierda
2	Trig
3	Echo
PWM	Sensor Ultrasónico HC-SR04 Derecha
6	Trig
7	Echo
Digitales	Sensor Infrarrojo IR FC-51 Frontal Izquierdo
28	Out
Digitales	Sensor Infrarrojo IR FC-51 Frontal Derecho
29	Out
Digitales	Sensor Infrarrojo IR FC-51 Izquierdo
31	Out
Digitales	Sensor Infrarrojo IR FC-51 Derecho
30	Out
Digitales	Sensor Sharp GP2Y0D810Z0F
22	Out
Analógicos	Sensor Infrarrojo CNY70
A0	Out
PWM	Módulo Puente H L298N para control de motores
13	ENA
12	IN1
11	IN2

10	IN3
9	IN4
8	ENB
Digital	Relé Frontal
26	S
Digital	Relé Posterior
27	S

Realizado por: Dennys Totoy y Gabriela Villacrés, 2021.

3.7 Diseño de PCB para la visualización de carga de la batería

Este método de monitoreo se usa para visualizar el nivel actual de consumo de la batería mediante diodos leds, esto indica si la batería se encuentra a plena, media y baja carga, este sistema es de gran ayuda, para determinar un tiempo estimado de funcionamiento del RDUV-C. En la figura 17-3 se observa el diseño esquemático de este sistema desarrollado en el *software* Proteus 8 Profesional.

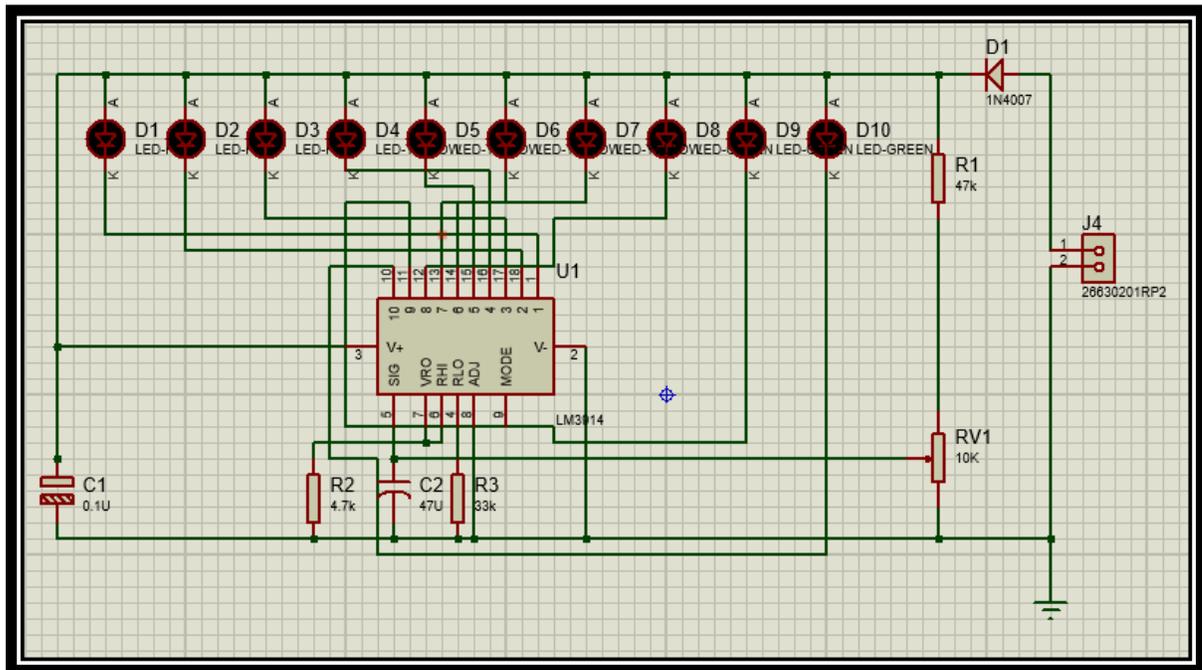


Figura 17-3: Esquema del sistema de monitoreo de carga en Proteus 8 Profesional.

Realizado por: Dennys Totoy y Gabriela Villacrés, 2021.

En la Tabla 14-3, se describe la conexión de los terminales que corresponden al circuito integrado LM3914 N-1, para el monitoreo de carga de la alimentación principal del RDUV-C.

Tabla 14-3: Tabla de conexión de terminales del circuito integrado LM3914 N-1.

Terminales del circuito integrado LM3914 N-1.	Módulos
1	Led rojo
2	GND
3	VCC
4	Resistencia de 33k Ω
5	Capacitor electrolítico 0.1uF
6	Resistencia de 4.7k Ω
7	Resistencia de 4.7k Ω
8	GND
9	-----
10	Led verde
11	Led verde
12	Led verde
13	Led amarillo
14	Led amarillo
15	Led amarillo
16	Led amarillo
17	Led rojo
18	Led rojo

Realizado por: Dennys Totoy y Gabriela Villacrés, 2021.

En la figura 18-3 se indica el circuito de monitoreo para la visualización de carga de la batería en PCB y el esquema en 3D, estas imágenes permitirán observar las conexiones requeridas y una posible visualización de los elementos colocados en la PCB para del estado de visualización de carga del RDUV-C.

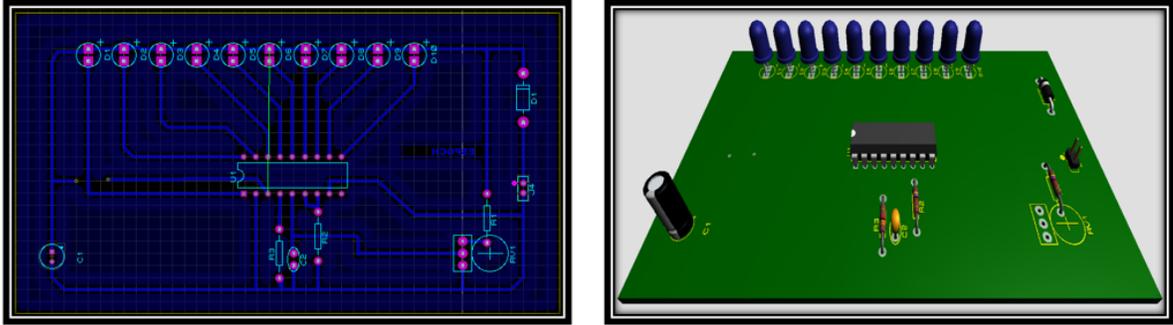


Figura 18-3: Diseño en PCB y esquema en 3D, respectivamente.

Realizado por: Dennys Totoy y Gabriela Villacrés, 2021.

En la figura 19-3 se muestra la placa PCB del sistema de monitoreo de carga después del atacado químico con cloruro férrico y el ensamblaje con cada componente ya implementado en la placa PCB, los cuales permitirán la visualización del estado de carga para el RDUV-C.

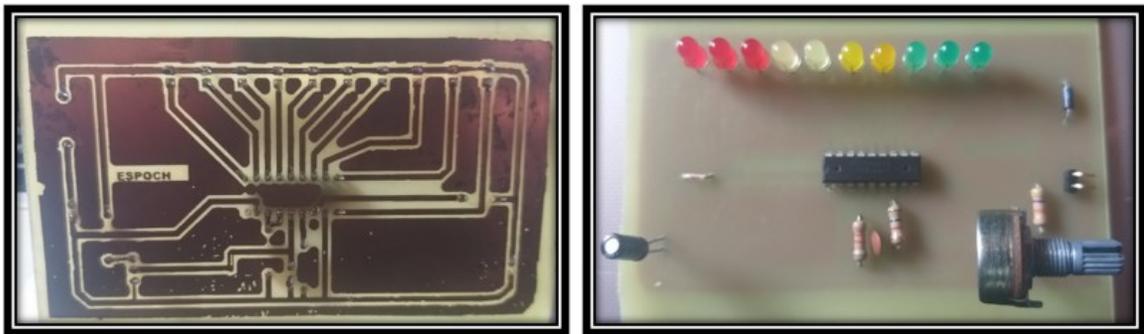


Figura 19-3: Placa después del atacado químico con cloruro férrico y ensamblada con todos los componentes soldados.

Realizado por: Dennys Totoy y Gabriela Villacrés, 2021.

3.8 Diseño estructural del RDUV-C

La estructura es diseñada en el *software* Solidworks 2018, el cual constara de tres partes que se acoplan una sobre otra, el objetivo es el permitir al RDUV-C moverse sobre una superficie plana de trabajo y evitar colisionar con cualquier obstáculo. En la figura 20-3 se muestra el diseño completo de la estructura.

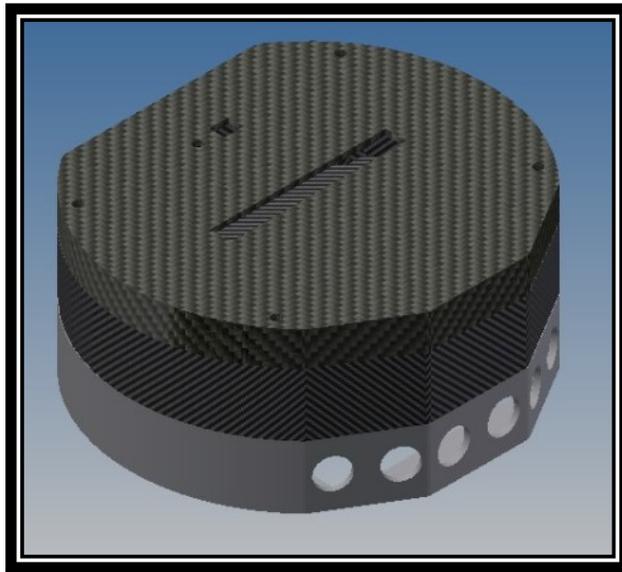


Figura 20-3: Diseño en 3D del RDUV-C.

Realizado por: Dennys Totoy y Gabriela Villacrés, 2021.

En la Tabla 15-3 se indica las características que poseerá la estructura del RDUV-C una vez ensambladas.

Tabla 15-3: Características de la estructura

Características del RDUV-C	
Dimensiones	Ancho:19cm
	Largo:17cm
	Alto:8cm
Peso	100.4g

Realizado por: Dennys Totoy y Gabriela Villacrés, 2021.

A continuación, se detalla cada una de las partes que comprende la estructura del RDUV-C.

- **Caja de Locomoción:** Está diseñada para contener las dos lámparas de luz UV-C, dos motores, llantas, batería principal, batería secundaria y sensores como: infrarrojo CNY70 (parte frontal inferior), Sharp GP2Y0D810Z0F (parte central inferior) y tres ultrasónicos HC-SR04 ubicados en la parte frontal, derecho e izquierdo. Sus dimensiones son de 19cm de ancho, 17cm de largo y 3.5cm de alto.

- **Caja de Control y Sensores:** Esta caja contiene cuatro sensores infrarrojos IR FC-51 colocados de la siguiente forma: dos frontales, uno derecho y uno izquierdo de la estructura, el bloque de control se encuentra conformado por: el Arduino Mega 2560 y el Módulo Puente H L298N, además de contener a los Relés. Sus dimensiones son de 19cm de ancho, 17cm de largo y 3.5cm de alto.

- **Caja de Visualización:** Está última caja contiene el switch de encendido o apagado y permite la visualización del estado de la batería, a través de leds. Sus dimensiones son de 19cm de ancho, 17cm de largo y 1cm de alto.

En la figura 21-3 se indica el diseño de cada caja visualizada en 3D, previo al ensamblaje RDUV-C.

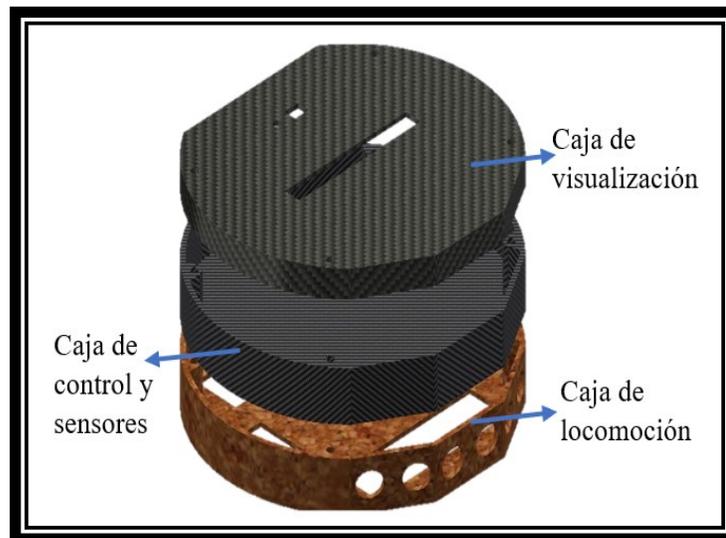


Figura 21-3: Diseño en 3D de la caja de: locomoción, control y sensores y visualización.

Realizado por: Dennys Totoy y Gabriela Villacrés, 2021.

3.9 Construcción del prototipo RDUV-C

Cada parte que conforma la estructura fue desarrollada en la impresora 3D “Anet ET4”, el material en el que se elaboraron las cajas es de PLA (fibra de carbono), dado que es resistente y de poco peso, ideal para la realización. En la figura 22-3 se visualiza la impresión en 3D de una de las cajas que lo conforman.



Figura 22-3: Impresión en 3D de la caja del prototipo RDUV-C

Realizado por: Dennys Totoy y Gabriela Villacrés, 2021.

Posterior a la impresión de cada una, se procede a ensamblar del RDUV-C utilizando tornillos guía de 4mm para acoplar las tres cajas. La primera constara del sistema de locomoción, censado, alimentación y desinfección. La segunda caja tendrá el sistema de sensores y control. Por último, la tercera caja constara del sistema de visualización, el estado de encendido y apagado, en la figura 23-3 se observa el ensamblaje de cada elemento que comprende cada etapa.

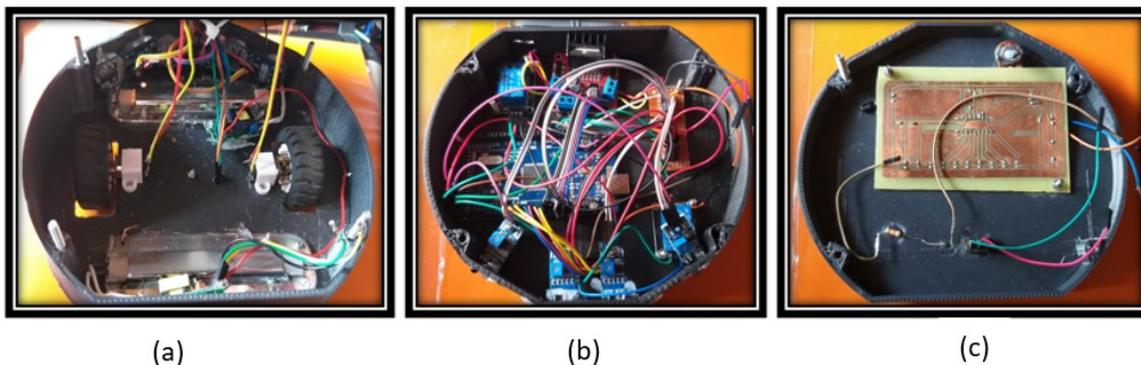


Figura 23-3: Ensamblaje de cada elemento de la caja de: (a) locomoción, (b) control y sensores y (c) visualización.

Realizado por: Dennys Totoy y Gabriela Villacrés, 2021.

Después de terminar el ensamblaje del RDUV-C se dispone a tomar las medidas y el peso final. En la Tabla 16-3 se muestra las características que posee el RDUV-C.

Tabla 16-3: Características del RDUV-C.

Características del RDUV-C	
Dimensiones	Ancho:19cm
	Largo:17cm
	Alto:9.5cm
Peso	740.08g

Realizado por: Dennys Totoy y Gabriela Villacrés, 2021.

3.10 Requerimiento de diseño para el software

Para procesar la información generada por el sistema de detección y evasión de obstáculos, además del sistema de desinfección y retorno a casa se empleó un programa desarrollado en el *software* Arduino. Donde posterior al análisis de la arquitectura del *hardware* del RDUV-C se procedió a estudiar los requerimientos de *software*.

Los requerimientos del software del dispositivo son:

- Desarrollar un sistema estable para la detección y evasión de obstáculos.
- Permitir al prototipo de robot regresar a su punto inicial a partir de la comparación de las medidas entre los sensores y del sensor de retorno a casa.
- Establecer el tiempo de espera necesario para que el robot realice el recorrido sobre la superficie en forma de onda cuadrada dependiendo de la medida de los sensores ante la presencia de obstáculos, mientras realiza la desinfección.
- Proporcionar un sistema de protección para la activación del sistema de desinfección.

3.11 Arquitectura de *software* del dispositivo

Para el desarrollo del software se utilizó el programa gratuito de la plataforma Arduino IDE en C++.

3.12 Herramienta de *software*

En este apartado se presenta la descripción del programa para el desarrollo del RDUV-C. La herramienta de *software* usada es de libre acceso y código abierto con uso en aplicaciones de ingeniería y robótica.

3.12.1 Diseño del *software* para el RDUV-C

Para el desarrollo del *software* se utiliza el programa gratuito de la plataforma Arduino IDE 1.8.9 en C++. Este *software* es de libre acceso y código abierto con uso en aplicaciones de ingeniería y robótica. Además, es una plataforma de programación de un microcontrolador, diseñado para escribir, compilar y cargar el código en un dispositivo Arduino desarrollado en un entorno de trabajo en tiempo real. Cuenta con varios ejemplos propios de cada una de las librerías, permitiendo así, tener un mejor entendimiento del funcionamiento del equipo o dispositivo que se esté manejando (Aly, 2019).

3.12.2 Desarrollo del código para el sistema de detección y evasión de obstáculos

En el gráfico 5-3, se puede observar el diagrama de flujo para el sistema de detección y evasión de obstáculos programados en el *software* Arduino IDE 1.8.9.

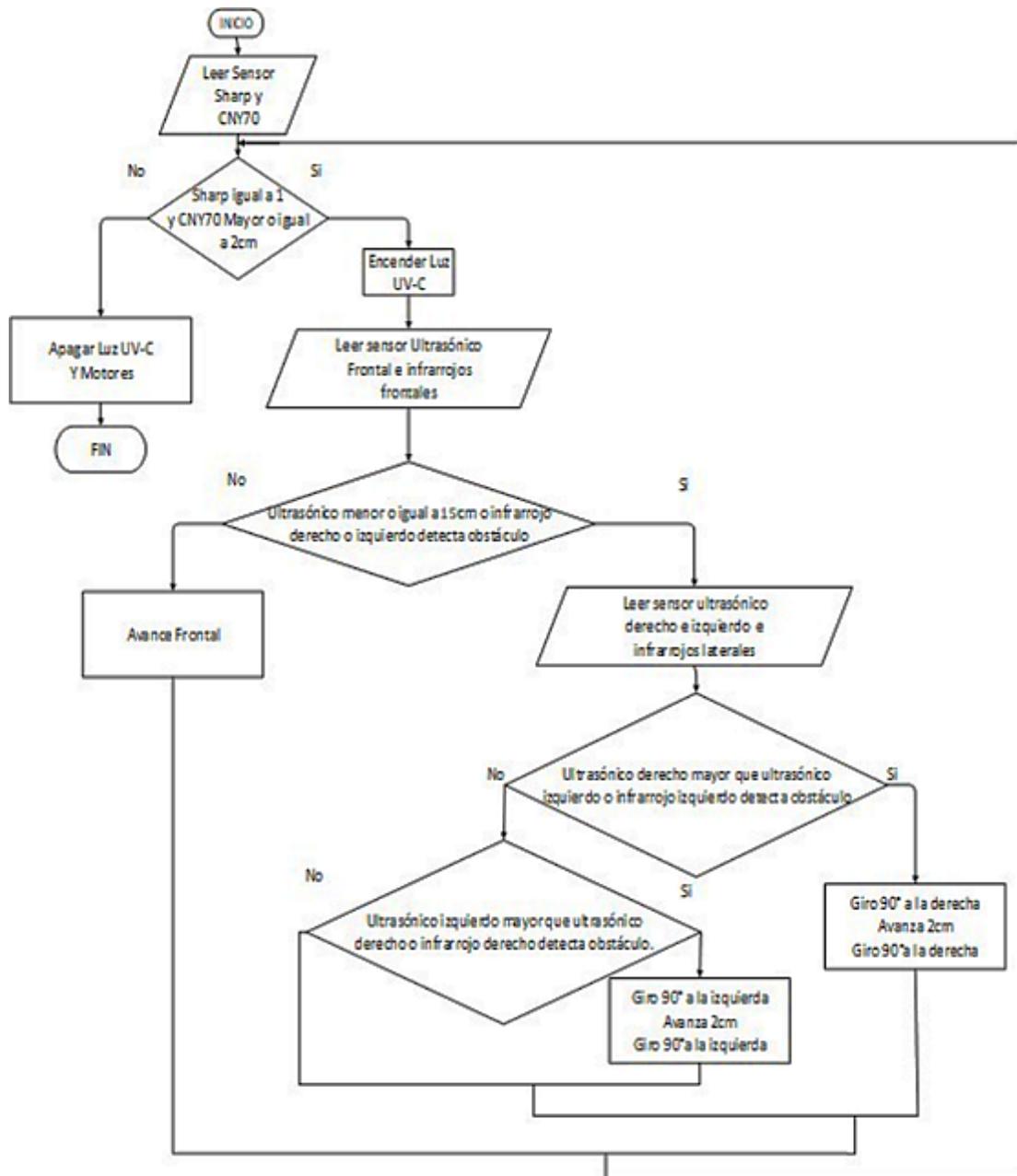


Gráfico 5-3: Diagrama de flujo para el sistema de desinfección, detección y evasión de obstáculos.

Realizado por: Gabriela Villacrés, Dennys Totoy, 2021.

A continuación, se describe la función del algoritmo para el sistema de detección y evasión de obstáculos:

- Inicia con la lectura del Sensor Sharp y el Sensor Infrarrojo CNY70, para la comunicación serial mediante el puerto.

- Mediante los datos obtenidos por el sensor Sharp, se determina si el robot se encuentra sobre la superficie, mientras que la señal del sensor infrarrojo CNY70 indica si no se encuentra en casa, de ser afirmativa se procede a la activación de las luces UV-C y al movimiento del RDUV-C. Caso contrario el RDUV-C se encuentra en espera de su activación o indica que se encuentra en casa.
- Mientras el RDUV-C se encuentre sobre la superficie y fuera de casa, se leen las medidas emitidas por el sensor ultrasónico frontal e infrarrojos frontales derecho e izquierdo, si la medida de los sensores es mayor a 15cm, indica que no ha detectado obstáculo y el RDUV-C debe avanzar de forma frontal, caso contrario si el objeto se encuentra a una distancia de 0 a 15 cm, se procede a leer las medidas que envían los sensores ultrasónicos derecho e izquierdo, y también los sensores infrarrojos derecho e izquierdo, de la comparación realizada en estas medidas se determinara el movimiento efectuado por el RDUV-C para evitar el obstáculo y continuar con su trayectoria.
- Para evitar el obstáculo y determinar el sentido de giro se determina lo siguiente: si la medida emitida por el sensor derecho es mayor que la medida emitida por el sensor izquierdo, el movimiento de giro para evitar el obstáculo será a la derecha con un giro de 90°, avanza 2 cm de forma frontal y nuevamente gira 90° a la derecha, caso contrario, si la medida emitida por el sensor izquierdo es mayor que la medida emitida por el sensor derecho, el movimiento de giro es 90° hacia la izquierda, avanza 2cm de forma frontal y nuevamente gira 90° a la derecha, lo cual permitirá al RDUV-C realizar su proceso de desinfección.
- Este proceso se realiza repetitivamente hasta que el RDUV-C detecte que ha regresado a casa, en caso de ser así determina que el RDUV-C ha cumplido con su función de desinfección en la superficie, esto desactiva el sistema de desinfección y locomoción hasta que nuevamente se lo ponga en ejecución.

3.13 Pruebas y Resultados

En la presente sección se muestran las pruebas realizadas para validar el funcionamiento del prototipo RDUV-C. Las cuales son: activación del sistema de desinfección, movimiento frontal, giros hacia la derecha o izquierda dependiendo del obstáculo, velocidad, desplazamiento en un área sin obstáculos y otra con obstáculos, retorno a casa y tiempo de recarga de la batería. Además, se realiza un análisis de cada resultado para así garantizar el cumplimiento de los requerimientos planteados, esto a su vez permitirá ver el alcance que tiene en la detección de obstáculos y su respuesta de evasión. Por último, se lleva a cabo un análisis económico para determinar que el sistema es de bajo costo.

3.13.1 Prueba de activación o desactivación automática del sistema de Luz UV-C

Esta prueba consiste en realizar la activación del sistema de desinfección, la cual se lleva a cabo siempre y cuando el RDUV-C se encuentre sobre la superficie a tratar, al momento que una persona lo eleva por más de 5cm de altura, el sistema desactiva inmediatamente y de forma automática tanto la Luz UV-C como los motores, con la finalidad de precautelar la salud del ser humano para evitar tener un contacto directo. La validación de esta prueba se muestra en la figura 24-3, en donde se indica el estado de la señal emitida por el sensor, si está se encuentra en 1 lógico activa el sistema o en 0 lógico lo desactiva.

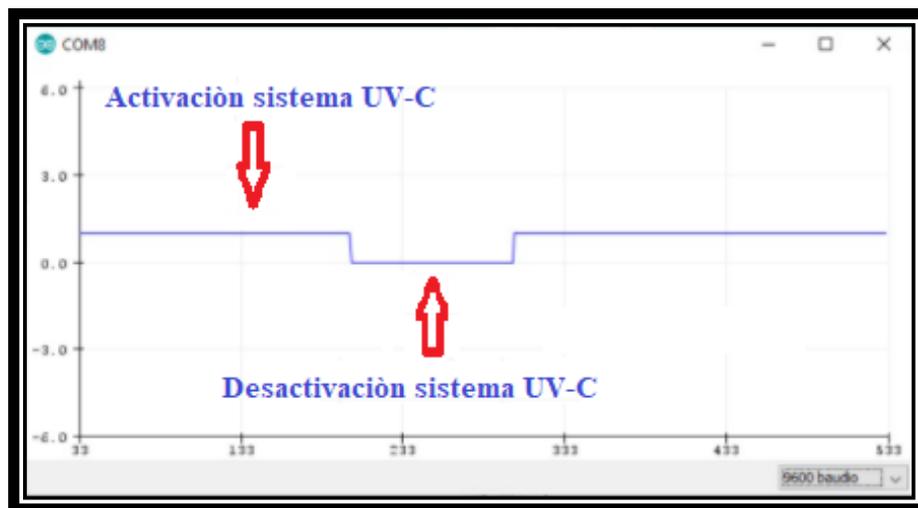


Figura 24-3: Validación de activación o desactivación del sistema Luz UV-C.

Realizado por: Gabriela Villacrés, Dennys Totoy, 2021.

En la figura 25-3 se indica el desarrollo de la prueba con el RDUV-C en funcionamiento.

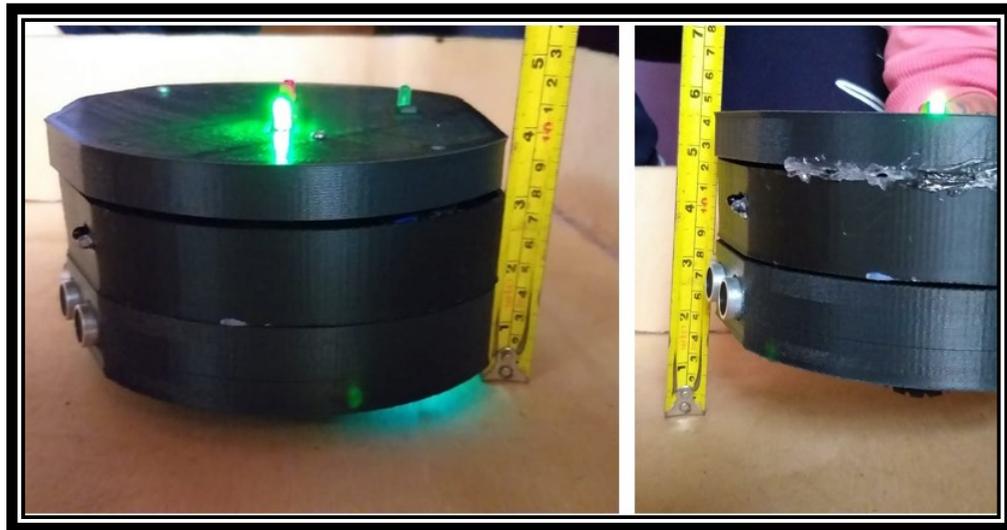


Figura 25-3: Prueba con el prototipo RDUV-C en funcionamiento.

Realizado por: Gabriela Villacrés, Dennys Totoy, 2021.

En la Tabla 17-3 se indica el registro de 6 muestras efectuadas con un sistema de referencia de medida en centímetros (cm), para determinar la distancia de desactivación de la Luz UV-C.

Tabla 17-3: Registro de 6 muestras efectuadas en el sensor Sharp GP2Y0D810Z0F para el sistema de activación o desactivación de Luz UV-C.

Número de muestra	Distancia medida con el sensor Sharp GP2Y0D810Z0F (cm)	Estado de la Luz UV-C
1		1 Activado
2		2 Activado
3		3 Activado
4		4 Activado
5		5 Desactivado
6		6 Desactivado

Realizado por: Dennys Totoy y Gabriela Villacrés, 2021.

En base a los datos obtenidos en la Tabla 17-3 se concluye que el sistema de activación o desactivación de la Luz UV-C, tiene un funcionamiento acorde a lo requerido por el prototipo RDUV-C cuando este se encuentra en operación, ya que no se muestra un error en las medidas.

3.13.2 Prueba del sistema de detección y evasión de obstáculos

La finalidad de esta prueba es determinar la detección y evasión de obstáculos, esta prueba se desarrolla siempre y cuando el prototipo de robot se encuentre en la superficie, la misma que demuestra la autonomía del prototipo RDUV-C, a continuación, se presentan tres escenarios.

3.13.2.1 Prueba de avance frontal del RDUV-C al no detectar obstáculo

El objetivo de esta prueba es evaluar el rango de detección y evasión de obstáculos del RDUV-C, mientras no detecte obstáculo en una distancia entre 15cm hasta su valor máximo de detección indicada por el fabricante, avanza de forma frontal después de cada 15 segundos de pausa, este lapso de tiempo de espera es determinado por el fabricante de la luz UV-C para la desinfección. La validación de esta prueba se muestra en la figura 26-3, en la cual se indica una señal de 1 lógico cuando el sensor ultrasónico no detecta obstáculo y 0 lógico cuando lo detecta, cabe mencionar que existe señal de ruido infiltrada en esta validación.

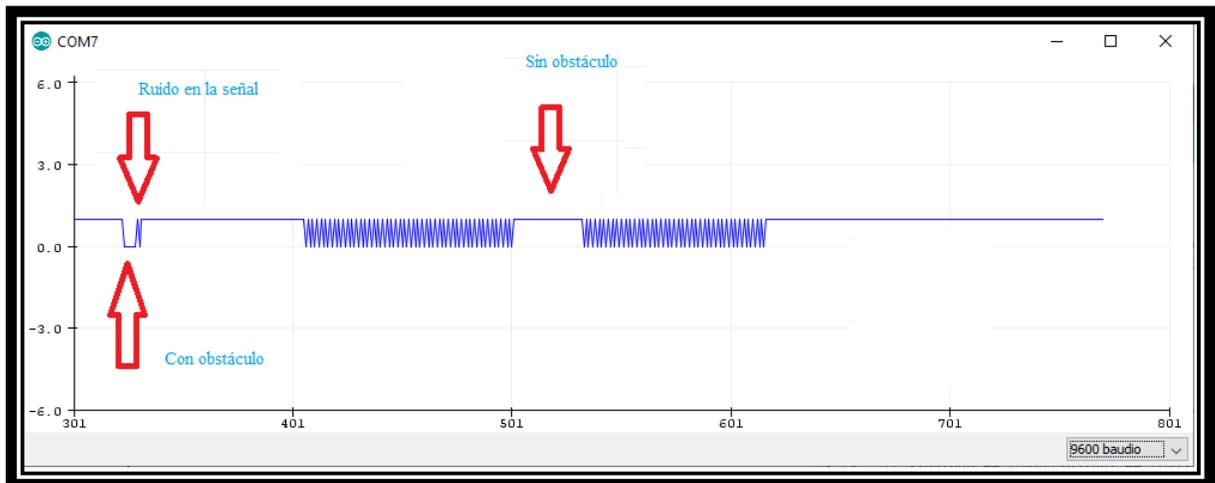


Figura 26-3: Validación de la señal del sensor ultrasónico HC-SR04.

Realizado por: Gabriela Villacrés, Dennys Totoy, 2021.

Caso similar ocurre con la validación mediante los sensores infrarrojos frontales mostrada en la figura 27-3, no presenta señal de ruido.



Figura 27-3: Validación de la señal del sensor infrarrojo IR FC-5.

Realizado por: Gabriela Villacrés, Dennys Totoy, 2021.

En la figura 28-3 se muestra la ejecución de esta prueba con el RDUV-C en funcionamiento, mediante el uso del sistema de medición métrica.



Figura 28-3: Proceso de prueba del sensor frontal.

Realizado por: Gabriela Villacrés, Dennys Totoy, 2021.

En la Tabla 18-3, se indica el registro de 10 muestras ejecutadas con un sistema de referencia de medida en centímetro (cm), el cual permite determinar la distancia de avance del prototipo RDUV-C.

Tabla 18-3: Registro de 10 muestras efectuadas en el sensor Ultrasónico frontal, para el avance frontal del prototipo RDUV-C.

Número de muestra	Distancia de referencia (cm)	Distancia medida con los sensores (cm)		Error absoluto (cm)
		Ultrasónico Frontal	Ultrasónico Frontal	
1	17	17	0	
2	31	33	2	
3	45	46	1	
4	59	60	1	
5	73	73	0	
6	87	87	0	
7	101	99	2	
8	115	113	2	
9	129	127	2	
10	143	143	0	
Media			1	
Desviación Estándar			1	

Realizado por: Dennys Totoy y Gabriela Villacrés, 2021.

En base a los datos obtenidos en la Tabla 18-3 se concluye que existe un resultado promedio de errores de 1cm para el avance frontal y una desviación estándar de 1cm, por lo tanto, se determina que el prototipo RDUV-C posee un avance acorde a las necesidades, ya que no representa problemas en su avance frontal.

3.13.2.2 Prueba del algoritmo de giro hacia la derecha con detección de obstáculos del RDUV-C

El objetivo de esta prueba es evaluar el algoritmo para el giro hacia la derecha mediante la detección y evasión de obstáculos, si la medida del sensor frontal se encuentra a una distancia menor o igual a 15cm, indica que ha detectado un obstáculo y lleva a cabo la siguiente comparación: si la medida del

sensor derecho es mayor que la medida del sensor izquierdo, el movimiento de giro se realizará hacia la derecha para evitar el obstáculo y continuar con su trayectoria. En la figura 29-3 se indica el desarrollo de esta prueba con el RDUV-C en funcionamiento ante la presencia de un obstáculo.

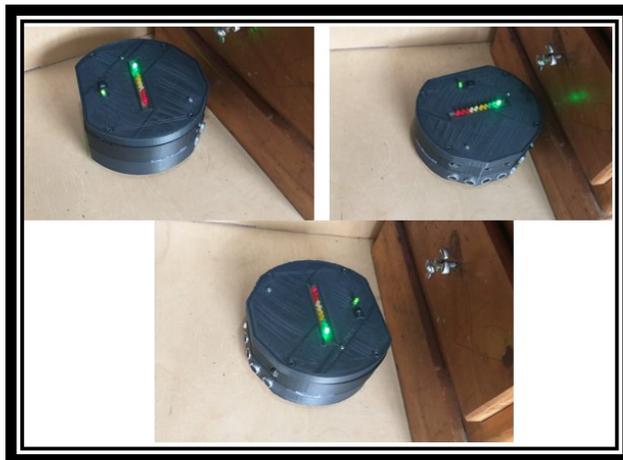


Figura 29-3: Proceso de prueba del sensor derecho con obstáculo.

Realizado por: Gabriela Villacrés, Dennys Totoy, 2021.

En la Tabla 19-3, se presenta el registro de 8 muestras ejecutadas aleatoriamente con un sistema de referencia de medida en centímetros (cm), donde se permite determinar el avance de giro hacia la derecha del prototipo RDUV-C.

Tabla 19-3: Registro de 8 muestras aleatorias efectuadas en los sensores: Ultrasónico frontal, Ultrasónico Izquierdo y Derecho, para prueba de autonomía del sensor derecho con obstáculo.

Número de muestra	Distancia medida con los Sensores Ultrasónicos (cm)			Dirección de giro
	Derecho	Frontal	Izquierdo	
1	25	10	4	Derecha
2	30	15	12	Derecha
3	25	7	5	Derecha
4	12	5	4	Derecha
5	32	15	14	Derecha
6	101	7	6	Derecha
7	103	14	12	Derecha
8	101	8	7	Derecha

Realizado por: Dennys Totoy y Gabriela Villacrés, 2021.

En base a los datos adquiridos en la Tabla 19-3 se concluye que el algoritmo de giro a la derecha se realiza acorde a las medidas obtenidas y cumple con el objetivo de evitar el obstáculo, por tal razón, se establece que el prototipo RDUV-C tiene un giro a la derecha acorde a las necesidades.

3.13.2.3 Prueba del algoritmo de giro hacia la izquierda con detección de obstáculos del RDUV-C

El objetivo de esta prueba es evaluar el algoritmo para el giro hacia la izquierda mediante la detección y evasión de obstáculos, si la medida del sensor frontal se encuentra a una distancia menor o igual a 15cm, indica que ha detectado un obstáculo y lleva a cabo la siguiente comparación: si la medida del sensor izquierdo es mayor que la medida del sensor derecho, el movimiento de giro se realizará hacia la izquierda para evitar el obstáculo y continuar con su trayectoria. En la figura 30-3 se indica el desarrollo de esta prueba con el RDUV-C en funcionamiento ante la presencia de un obstáculo.



Figura 30-3: Proceso de prueba del sensor izquierdo con obstáculo.

Realizado por: Gabriela Villacrés, Dennys Totoy, 2021.

La Tabla 20-3, detalla los valores adquiridos en las 8 muestras aleatorias realizadas al prototipo RDUV-C, donde el sistema de referencia se encuentra establecido en centímetros (cm), lo cual permite determinar el avance de giro hacia la izquierda.

Tabla 20-3: Registro de 8 muestras aleatorias efectuadas en los sensores: Ultrasónico frontal, Ultrasónico Izquierdo y Derecho, para prueba de autonomía del sensor izquierdo con obstáculo.

Número de muestra	Distancia medida con los Sensores Ultrasónicos (cm)			Dirección de giro
	Derecho	Frontal	Izquierdo	
1	10	9	153	Izquierdo
2	5	6	140	Izquierdo
3	10	9	100	Izquierdo
4	8	7	83	Izquierdo
5	11	9	97	Izquierdo
6	7	7	101	Izquierdo
7	7	6	96	Izquierdo
8	10	10	48	Izquierdo

Realizado por: Dennys Totoy y Gabriela Villacrés, 2021.

En base a los datos recopilados en la Tabla 20-3 se concluye que el algoritmo de giro a la izquierda se realiza acorde a las medidas obtenidas y cumple con el objetivo de evitar el obstáculo, lo cual permite realizar un giro a la izquierda acorde a los requerimientos.

3.13.3 Área de cobertura de limpieza

La prueba de desinfección del prototipo RDUV-C, se desarrolla sobre un área de cobertura de 1.5m de largo por 2m de ancho, esto se debe a que es necesario realizar pequeñas pausas de tiempo entre cada avance para la ejecución de la desinfección, la cual está definida por el fabricante de la luz UV-C, con esto se concluye que en la hora y media de funcionamiento establecido por el voltaje de la batería, se podrá desinfectar aproximadamente una área tres veces mayor a la realizada en la prueba sin obstáculos.

3.13.4 Velocidad estimada del prototipo RDUV-C para desinfectar el área destinada

La prueba permite determinar la velocidad requerida para la desinfección, la cual dependerá de las especificaciones técnicas del fabricante de la luz UV.C donde se tiene un tiempo de 30 segundos. Con la finalidad de reducir este tiempo a la mitad se decide utilizar 2 luces. Por tal razón se establece una velocidad de trabajo de 17cm/s, con un tiempo de pausa de 15s. En conclusión, con este tiempo y

velocidad el prototipo RDUV-C es capaz de desinfectar y además de recorrer toda la superficie de trabajo evitando los obstáculos que se presenten, mediante la ejecución del algoritmo propuesto.

3.13.5 Prueba del tiempo para el sistema de evasión de obstáculos

Para la elaboración de estas pruebas, es necesario establecer dos tipos de escenarios sobre la superficie, como lo son con obstáculos y sin obstáculos. A continuación, se detalla el desarrollo de cada prueba.

3.13.5.1 Tiempo de desplazamiento y desinfección en una superficie sin obstáculos

El objetivo de esta prueba es determinar el tiempo máximo de desplazamiento y desinfección sobre una superficie con un área de 1.5m de largo por 2m de ancho sin presencia de obstáculos. En la figura 31-3 se indica el desarrollo de esta prueba con el RDUV-C en funcionamiento.



Figura 31-3: Prueba de desinfección en una superficie libre de objetos.

Realizado por: Gabriela Villacrés, Dennys Totoy, 2021.

La Tabla 21-3, describe el tiempo requerido por el prototipo RDUV-C para la ejecución del desplazamiento y desinfección sobre la superficie, el cual se realiza mediante la obtención de 3 muestras aleatorias.

Tabla 21-3: Registro de 3 tiempos de muestra desarrollados en la superficie del área a desinfectar sin obstáculos.

Número de muestra	Tiempo
1	0:35:35
2	0:38:12
3	0:40:45
Tiempo Máximo	0:40:45

Realizado por: Dennys Totoy y Gabriela Villacrés, 2021.

Con base en los datos adquiridos en la Tabla 21-3 se concluye que el tiempo máximo de desplazamiento y desinfección del prototipo RDUV-C es de 40 minutos con 45 segundos cuando el área se encuentra sin objetos, este tiempo se encuentra acorde al tiempo calculado de 39 minutos aproximadamente, debido a los tiempos de espera.

3.13.5.2 Tiempo de desplazamiento y desinfección en una superficie con obstáculos

La finalidad de esta prueba es determinar el tiempo estimado de desplazamiento y desinfección sobre una superficie con presencia de obstáculos en un área de 1.5m de largo por 2m de ancho. En la figura 32-3 se visualiza el desarrollo de esta prueba con el RDUV-C en funcionamiento.

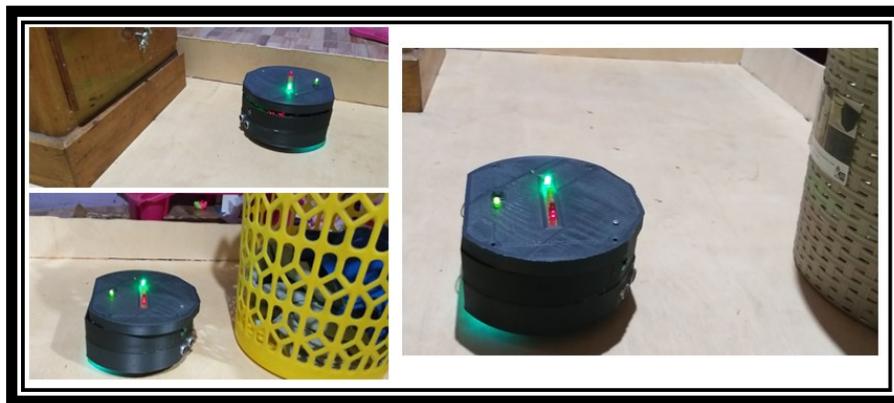


Figura 32-3: Prueba de desinfección en una superficie con objetos.

Realizado por: Gabriela Villacrés, Dennys Totoy, 2021.

La Tabla 22-3, detalla el tiempo promedio requerido por el prototipo RDUV-C para el desarrollo de la desinfección de la superficie en un área con obstáculos, para la obtención de este tiempo se procede a realizar 3 muestras aleatorias.

Tabla 22-3: Registro de 3 tiempos de muestra desarrollados en la superficie del área a desinfectar con obstáculos.

Número de muestra	Tiempo
1	0:30:45
2	0:31:35
3	0:29:12
Tiempo Máximo	0:31:35

Realizado por: Dennys Totoy y Gabriela Villacrés, 2021.

Los datos adquiridos en la Tabla 22-3, permiten concluir que el tiempo máximo de desplazamiento y desinfección del RDUV-C en una superficie con obstáculos, es de 32 minutos aproximadamente, este tiempo se encuentra acorde al tiempo calculado de 33 minutos aproximadamente, debido a los tiempos de espera.

3.13.6 Prueba del algoritmo de retorno al punto de partida

El objetivo de esta prueba es evaluar el algoritmo del RDUV-C para conocer si retorna a su punto de partida, para lo cual se hace uso de una alfombra de color negro y un sensor, si la información que envía este sensor indica que ha detectado color negro significa que se encuentra en casa y ha culminado con el proceso de desinfección, caso contrario se encuentra aún en operación. La validación de esta prueba se puede observar en la figura 33-3, en la cual indica si la medida es mayor a 2cm significa que no ha detectado color negro, caso contrario significa que ha detectado el color.

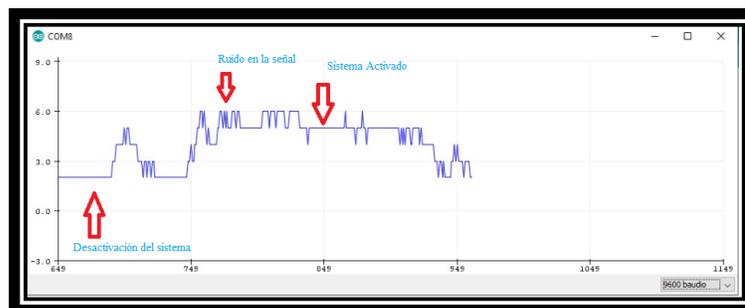


Figura 33-3: Validación de detección del color negro.

Realizado por: Gabriela Villacrés, Dennys Totoy, 2021.

En la figura 34-3 se muestra la ejecución de esta prueba con el RDUV-C cuando parte de casa y cunado ha regresado a casa.



Figura 34-3: Prueba de retorno a casa.

Realizado por: Gabriela Villacrés, Dennys Totoy, 2021.

Con base en las pruebas realizadas se concluye que el algoritmo del prototipo RDUV-C cumple con el propósito de retornar a su punto de partida para culminar con el proceso de desplazamiento y desinfección.

3.13.7 Tiempo de recarga y descarga de las baterías

La batería de ambas lipos se encuentra a plena carga al momento de comenzar a realizar la desinfección con luz UV-C del prototipo RDUV-C. El consumo del voltaje es aproximadamente de 6.4V es decir el 43.24% de la capacidad de las baterías a plena carga, esto se debe al uso que requiere el tiempo de funcionamiento y al consumo mínimo de trabajo que necesita cada elemento que lo conforma.

Para la carga del sistema de alimentación se utilizó el cargador imaxRC B3, el mismo que puede recargar la batería en un tiempo determinado por el valor de corriente de la batería y el valor de corriente del cargador, como lo demuestra la ecuación 1-3 y 2-3 realizada para el proceso de carga de cada una:

$$T_{carga} == mAh/I_{carga} \quad (1-3)$$

$$T_{carga} = 1500mAh/800mA$$

$$T_{carga} = 1.87h$$

$$T_{carga} = mAh/I_{carga} \quad (2-3)$$

$$T_{carga} = 2200mAh/800mA$$

$$T_{carga} = 2.75 h$$

Donde:

T_{carga} = Tiempo de carga

mAh = Amperaje de la batería lipo.

I_{carga} = Corriente de carga propio del cargador.

El valor adquirido anteriormente en la fórmula es de 1.87h y 2.75h respectivamente para cada batería, pero este tiempo es para la carga completa de cada una. Debido a que cada batería no se descarga en su totalidad al momento de su utilización en el prototipo RDUV-C, se procede a realizar un registro de tiempos de carga. En la Tabla 23-3 se detalla 10 tiempos registrados aleatoriamente.

Tabla 23-3: Registro del tiempo de carga de la batería.

Número de muestra	Tiempo de carga de batería Lipo de 7.4V	
	1500mA	2200mA
1	1:20:00	1:40:00
2	1:25:00	1:45:00
3	1:35:00	1:55:00
4	1:30:00	1:40:00
5	1:22:00	1:42:00
6	1:32:00	1:38:00
7	1:40:00	1:40:00
8	1:37:00	1:37:00
9	1:25:00	1:52:00
10	1:27:00	1:39:00
Promedio	1:29:00	1:43:00
Tiempo Total	3:12:00	

Realizado por: Dennys Totoy y Gabriela Villacrés, 2021.

Los datos proporcionados por la Tabla 23-3 concluyen que el tiempo promedio necesario de carga para la batería Lipo de 7.4V a 1500mA es de una 1 hora y 29 minutos y para la batería de 2200mA

es de una 1 hora y 43 minutos, esto a su vez proporciona una suma total de 3 horas y 12 minutos, este tiempo es aceptable ya que se tiene un solo cargador, mientras que el tiempo calculado se basa en conocer la potencia que entrega la batería, la potencia de consumo del prototipo RDUV-C y la tasa de descarga de cada batería, dando como resultado un tiempo de descarga de 4 horas y media aproximadamente, tiempo que puede funcionar el RDUV-C.

CAPITULO IV

4. GESTION DEL PROYECTO

En el presente capítulo se realiza un cronograma GANTT para determinar el tiempo a desarrollar cada tarea para la construcción del prototipo RDUV-C y, además, se elabora un análisis económico del mismo.

4.1 Cronograma tentativo (GANTT)

En la Tabla 1-4 se desarrolla el cronograma de actividades a desarrollar para la concepción del prototipo RDUV-C, los mismos que se encuentran definidos por su fecha de elaboración.

Tabla 1-4: Análisis de costo del prototipo RDUV-C.

MESES	MES 1	MES 2	MES 3	MES 4	MES 5	MES 6
TAREAS						
Investigar cual es la mejor opción de adquisición de información para un correcto procesamiento.						
Determinar cuáles son los requerimientos para el sistema de desinfección con Luz Ultravioleta.						
Realizar el diseño para la construcción del robot autónomo.						
Construir el prototipo del robot autónomo para desinfección.						
Evaluar el prototipo en el hogar.						

4.2 Análisis Económico del prototipo RDUV-C

En la Tabla 2-4 se desarrolla un estudio de costos para cada componente que conforma el prototipo RDUV-C, los mismos que permiten un correcto funcionamiento al momento de su puesta en marcha.

Tabla 2-4: Análisis de costo del prototipo RDUV-C.

Cantidad	Hardware	Valor Unitario	Total
Elementos de desinfección			
2	Lampara UV-C para desinfección	\$33.00	\$66.00
2	Relé 5vDC	\$2.90	\$5.80
1	Sensor de distancia Sharp GP2Y0D810Z0F	\$12.00	\$12.00
1	Sensor infrarrojo CNY70	\$2.50	\$2.50
Sistema anticollisiones			
1	Tarjeta de desarrollo Arduino Mega 2560	\$16.00	\$16.00
3	Sensor ultrasónico HC-SR04	\$2.50	\$7.50
4	Sensor Infrarrojo IR FC-51	\$2.50	\$10.00
Sistema de Locomoción			
1	Módulo Puente H L298N para control de motores.	\$4.50	\$4.50
2	Motores DC Pololu 10:1	\$20.00	\$40.00
2	Llantas Ruedas Micro Motor N20	\$2.50	\$5.00
1	Bola Loca	\$2.50	\$2.50
Sistema de Alimentación			
1	Batería Lipo 7.4V y 1500mA	\$30.00	\$30.00
1	Batería Lipo 7.4V y 2200mA	\$35.00	\$35.00
1	Regulador Buck DC-DC Step Down LM2596	\$2.50	\$2.50
Sistema de visualización de carga de la batería			
10	Diodos Led: rojo, amarillo y verde	\$0.25	\$2.50

1	Placa PCB	\$1.30	\$1.30
1	Circuito Integrado LM3914 N-1	\$2.50	\$2.50
Elementos Adicionales			
	Impresión 3D	\$60,00	\$60.00
	Elementos varios	\$45.00	\$45.00
Costo total del prototipo de robot			\$350.60

Realizado por: Dennys Totoy y Gabriela Villacrés, 2021.

En base a los valores de la Tabla 2-4, sobre el costo de implementación del prototipo RDUV-C implementado se obtiene un valor de **\$350.60** dólares americanos (USA). Al desarrollar una comparación con dispositivos comerciales de similares características, se concluye que el prototipo RDUV-C implementado resulta ser 99.29% menor.

CONCLUSIONES

- Se construyó un sistema de evasión de obstáculos para el prototipo RDUV-C, basado en dos tipos de sensores. Para esto se utilizó 3 sensores ultrasónicos que se ubicaron en la parte frontal, izquierda y derecha. Además de 4 sensores infrarrojos: 2 ubicados en la parte frontal, 1 en el lado izquierdo y derecho, estos otorgan ayuda a los sensores ultrasónicos. Su función es evitar colisionar con algún objeto colocado en la parte frontal realizando giros a la derecha o izquierda dependiendo de la comparación de medida detectada por cada sensor lateral, donde la mayor permite la dirección de giro.
- Las pruebas realizadas en el sistema de avance evidenciaron la posibilidad del prototipo RDUV-C de poder medir valores de distancias reales, con un error promedio para el sensor frontal de 1cm, mientras que la comparación de medidas entre los sensores derecho e izquierdo, determinaron el funcionamiento del sistema de detección y evasión de obstáculos.
- Al realizar la desinfección sobre la superficie sin obstáculos se determinó un tiempo máximo de 38 minutos aproximadamente, es decir 21.06% más que el tiempo de desinfección del prototipo RDUV-C en una superficie con obstáculos. Esto se debe a que el algoritmo que maneja el prototipo RDUV-C incorpora mayor número de pausas de 15 segundos para desinfectar toda la superficie sin obstáculos.
- Del análisis de costos del prototipo RDUV-C se determinó, que es económico con un 99.29% en comparación con equipos comerciales de similares características. Lo que implica que el prototipo es de bajo costo.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda ampliar el tiempo de pruebas para una mejor validación e identificación de mejoras al prototipo implementado.
- Investigar un sistema para el posicionamiento, recorrido y evasión de obstáculos mediante la implementación o uso de visión artificial, otorgando al sistema autónomo la capacidad de realizar el mapeo de su área para conocer su entorno y almacenar la información en tiempo real.
- Incorporar al prototipo implementado nuevas prestaciones como un sistema de aspiración, con la finalidad de que sea un robot multifunción.
- Investigar diferentes modelos de componentes que otorguen la posibilidad de reducir el tamaño del prototipo RDUV-C para que sea más compacto.
- Analizar nuevos mecanismos de desinfección que sean capaces de cubrir un área más amplia y que además permitan que su desarrollo se lleve a cabo en menor tiempo, precautelando siempre la salud del ser humano.

BIBLIOGRAFÍA

ACUÑA, Carlos; & PAREDES, Edwin. *Diseño y Construcción de un Robot Móvil que pueda Desplazarse dentro de un Laberinto* [en línea]. 2006. [Consulta: 06 de Noviembre 2020]. Disponible en: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/285/1/CD-0248.pdf>

ADMINISTRADOR. *Monitor de Carga de Batería con LM3914*. Electrónica Unicrom. [en línea] 2020. [Consulta: 16 de Noviembre 2020]. Disponible en: <https://unicrom.com/monitor-de-carga-de-bateria-con-lm3914/>

ALLDATASHEET. *Datasheets, GP2Y0D810Z0F* [en línea]. 2017. [Consulta: 04 de Diciembre 2020]. Disponible en: <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/412687/SHARP/GP2Y0D810Z0F.html>

ALLDATASHEET. *Datasheets, LM2596S-ADJ* [en línea]. 2017. [Consulta: 05 de Marzo 2020]. Disponible en: <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/526514/TI/LM2596S-ADJ.html>

ALLDATASHEET. *Datasheets, LM3914N-1* [en línea]. 2017. [Consulta: 04 de Diciembre 2020]. Disponible en: <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/8900/NSC/LM3914N-1.html>

ALY, Aiza. *Download Arduino IDE 1.8.9 for Windows*. OneSoftwares [en línea]. 2019. [Consulta: 06 de Noviembre 2020]. Disponible en: <https://onesoftwares.net/arduino-ide-1-8-9/>

AMERICAN CANCER SOCIETY. *¿Qué es la radiación ultravioleta (UV)?* [en línea]. 2017. [Consulta: 06 de Noviembre 2020]. Disponible en: <https://www.cancer.org/es/cancer/cancer-de-piel/prevencion-y-deteccion-temprana/que-es-la-radiacion-de-luz-ultravioleta.html>

ARDUINO. *Arduino en español: Arduino Mega 2560*. Arduino en español [en línea]. 2017. [Consulta: 22 de Noviembre 2020]. Disponible en: <http://manueldelgadocrespo.blogspot.com/p/arduino-mega-2560.html>

ARDUINO. *Arduino Mega 2560 Rev3*. Tienda oficial Arduino [en línea]. 2017. [Consulta: 22 de Noviembre 2020]. Disponible en: <https://store.arduino.cc/usa/mega-2560-r3>

AVELECTRONICS. *Convertidor Voltaje Buck DC-DC Adjustable Step Down LM2596.* AV Electronics [en línea]. 2003. [Consulta: 05 de Marzo 2021]. Disponible en: <https://avelectronics.cc/producto/convertidor-voltaje-buck-dc-dc-adjustable-step-down-lm2596/>

AZCÓN, Alberto; & PUJOL, Alberto. *Análisis y Diseño del Control de Posición de un Robot Móvil con Tracción Diferencial.* [en línea]. *Escola Tecnica Superior Enginyeria.* Universitat Rovira i Virgili. 2003. pp. 6-19. [Consulta: 19 de Octubre 2020]. Disponible en: <http://deeea.urv.cat/public/PROPOSTES/pub/pdf/333pub.pdf>

BBC NEWS. *Coronavirus: Qué es la luz UVC que se utiliza para desinfectar superficies (y qué riesgos conlleva).* BBC News Mundo [en línea]. 2020. [Consulta: 19 de Octubre 2020]. Disponible en: <https://www.bbc.com/mundo/noticias-52626354>

BONELL, Marc. *DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN ROBOT HUMANOIDE.* [en línea] UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CATALUNYA. 2011. [Consulta: 04 de Diciembre 2020]. Disponible en: <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/12840/pfc1.pdf>

BONILLA, Mariana; et al. *Desplazamiento de un robot con localización y evasión de obstáculos por visión y ultrasonido* [en línea]. Instituto Tecnológico de Orizaba. Puebla - México. 2009. pp. 34-37 [Consulta: 04 de Diciembre 2020]. Disponible en: <https://www-elec.inaoep.mx/~jmram/cvjm/Desplazamiento%20de%20un%20robot%20con2009.pdf>

CALDERÓN, Gabriel. *Diseño y construcción del prototipo en línea de un sistema de tratamiento de aguas residuales a base de luz ultravioleta* [en línea]. Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca. Cuenca - Ecuador. 2014. pp. 5-7. [Consulta: 17 de Noviembre 2020]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/7256/1/UPS-CT004152.pdf>

CARRASCO, Alex. *PROPUESTA DE UN SISTEMA DE EVASIÓN DE OBSTÁCULOS PARA UN DRONE APLICADO A LA INSPECCIÓN EN REDES DE DISTRIBUCIÓN Y TRANSMISIÓN PARA LA EMPRESA ELÉCTRICA RIOBAMBA S.A* [en línea]. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba - Ecuador 2018. [Consulta: 19 de Octubre 2020]. Disponible en: <http://dspace.espoch.edu.ec/bitstream/123456789/10821/1/108T0278.pdf>

CDC. *Microbios y enfermedades transmitidos por los alimentos* [en línea]. Seguridad alimenticia CDC. 2018. [Consulta: 19 de Octubre 2020]. Disponible en: <https://www.cdc.gov/foodsafety/es/foodborne-germs-es.html>.

COMISIÓN EUROPEA. *Citizens_uvc_es* [en línea]. 2017. [Consulta: 06 de Noviembre 2020]. Disponible en: https://ec.europa.eu/health/sites/health/files/scientific_committees/scheer/docs/citizens_uvc_es.pdf

COMPAÑÍA 59S. *Varita esterilizadora LED UVC 59S*. [en línea]. 2018. [Consulta: 16 de Noviembre 2020]. Disponible en: https://www.59s.com/product/product_all_items_x5/UVC_LED_STERILIZING_WAND.html?gclid=EA1aIQobChMI_MHb-I6A7QIVFm-GCh3bDgw2EAAAYASAAEgIP9vD_BwE

CSCAZORLA. *Robots móviles (I)*. Xataka Ciencia [en línea]. 2011. [Consulta: 04 de Diciembre 2020]. Disponible en: <https://www.xatakaciencia.com/robotica/robots-moviles-i>

DELGADO, Mónica. *Diseno de una base de recarga para la plataforma robótica Móvil Robobo* [en línea]. Tecnológico de Costa Rica. Cartago - Costa Rica. 2019. pp. 30 - 45. [Consulta: 16 de Noviembre 2020]. Disponible en: <https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/10750/diseno-base-recarga-plataforma-robotica.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

DUAL FULL-BRIDGE DRIVER. *Dual full-bridge driver* [en línea]. 2000. [Consulta: 04 de Noviembre 2020]. Disponible en: <https://www.st.com/resource/en/datasheet/1298.pdf>

ECD VETERINARIA LTDA. *Lámpara Purificadora de Esterilización UV (portátil)*. ECD Veterinaria [en línea]. 2019. [Consulta: 04 de Noviembre 2020]. Disponible en: <https://ecdveterinaria.com/sitio/producto/lampara-purificadora-de-esterilizacion-uv-portatil/>

ELECTRÓNICA; & ROBÓTICA. *LIDAR-Lite v3—SEN-14032*. Gizmojo [en línea]. 2016. [Consulta: 22 de Noviembre 2020]. Disponible en: <https://www.gizmojo.com.ar/products/lidar-lite-v3>

ELECTRONILAB. *Driver Dual L298N para motores—Puente H.* Electronilab [en línea]. 2017. [Consulta: 4 de Diciembre 2020]. Disponible en: <https://electronilab.co/tienda/driver-dual-para-motores-full-bridge-l298n/>

FERNÁNDEZ, José. *Luz LED para descontaminar superficies de coronavirus.* biotechmagazineandnews [en línea]. 2020. [Consulta: 19 de Octubre 2020]. Disponible en: <https://biotechmagazineandnews.com/luz-led-para-descontaminar-superficies-de-coronavirus/>

FIRMESA 360LIFE. *Desinfección de Espacios, Empresas: Robot LightStrike de Xenex Destruye (Coronavirus) en ciclos de 2 minutos.* 360Life Technologies® [en línea]. 2020. [Consulta: 19 de Octubre 2020]. Disponible en: <https://360life.tech/desinfeccion-empresas-robot-lightstrike-xenex-destruye-el-sars-cov-2-coronavirus-en-2-minutos/>

FOUNDATION FOR MEDICAL EDUCATION; & RESEARCH. *Gérmenes: Protégete contra las bacterias, los virus y las infecciones.* Mayo Clinic [en línea]. 2018. [Consulta: 19 de Octubre 2020]. Disponible en: <https://www.mayoclinic.org/es-es/diseases-conditions/infectious-diseases/in-depth/germs/art-20045289>

GARCIA, José. *MOTOR_PaP_FINAL* [en línea]. 2015. [Consulta: 06 de Noviembre 2020].

GONZÁLEZ, Ramón; et al. *Robots Móviles con Orugas Historia, Modelado, Localización y Control.* Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial RIAI [en línea]. 2015. pp. 3-12. [Consulta: 16 de Noviembre 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.riai.2014.11.001>

HETPRO. *CNY70 Sensor óptico de reflexión con Arduino.* HETPRO/TUTORIALES [en línea]. 2017. [Consulta: 25 de Febrero 2021]. Disponible en: <https://hetpro-store.com/TUTORIALES/cny70-sensor-optico/>

INFOBAE. *Rayos ultravioleta para desinfectar los autobuses en China.* Infobae [en línea]. 2020. [Consulta: 19 de Octubre 2020]. Disponible en: <https://america/agencias/2020/03/13/rayos-ultravioleta-para-desinfectar-los-autobuses-en-china/>

JECRESPOM. *Arduino vs Raspberry Pi.* Aprendiendo Arduino. [en línea]. 2016. [Consulta: 06 de Noviembre 2020]. Disponible en: <https://aprendiendoarduino.wordpress.com/2016/03/28/arduino-vs-raspberry-pi/>

JULPIN ELECTRÓNICA; & ROBÓTICA. *Módulo sensor de choque o colisión para ARDUINO.* Julpin Electrónica [en línea]. 2016. [Consulta: 06 de Noviembre 2020]. Disponible en: <http://www.julpin.com.co/inicio/modulos-sensores/473-modulo-sensor-de-choque-o-colision-para-arduino.html>

LA INFORMACIÓN. *¿Qué tipos de radiación ultravioleta existen?* [en línea]. 2016. [Consulta: 16 de Noviembre 2020]. Disponible en: https://www.lainformacion.com/espana/tipos-radiacion-ultravioleta-existen_0_908010360.html

LA VANGUARDIA. *El descuido de una profesora provoca heridas por luz UV a 40 niños en China.* La Vanguardia [en línea]. 2018. [Consulta: 04 de Diciembre 2020]. Disponible en: <https://www.lavanguardia.com/vida/20181116/452965585140/el-descuido-de-una-profesora-provoca-heridas-por-luz-uv-a-40-ninos-en-china.html>

LÓPEZ, Said. *El uso de luz ultravioleta como método de desinfección.* Conexiones 365. [en línea]. 2020. [Consulta: 06 de Noviembre 2020]. Disponible en: <https://www.conexiones365.com/nota/abastur/innovacion-y-tecnologia/luz-ultravioleta-metodo-desinfeccion>

LOZANO, Juan. *Plataforma robótica experimental.* [en línea]. Universidad Oberta de Catalunya. 2019. [Consulta: 06 de Noviembre 2020]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10609/87465>

LLAMAS, Luis. *Detector de obstáculos con sensor infrarrojo y Arduino.* Luis Llamas [en línea]. 2016. [Consulta: 06 de Noviembre 2020]. Disponible en: <https://www.luisllamas.es/detectar-obstaculos-con-sensor-infrarrojo-y-arduino/>

LLAMAS, Luis. *Tipos de motores rotativos para proyectos de Arduino.* Luis Llamas [en línea]. 2016. [Consulta: 06 de Noviembre 2020]. Disponible en: <https://www.luisllamas.es/tipos-motores-rotativos-proyectos-arduino/>

LUNA, Marco; et al. *Robot salamandra anfibio con locomoción bioinspirada.* Ingenius. Revista de Ciencia y Tecnología, 17 [en línea]. 2016. pp. 51-59. [Consulta: 04 de Diciembre 2020]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/jatsRepo/5055/505554801007/html/index.html>

MARTÍNEZ, María. *Los efectos de la luz ultravioleta*, Volumen XXV [en línea]. Número 3, La ciencia y el hombre, Universidad Veracruzana. 2012. [Consulta: 16 de Noviembre 2020]. Disponible en: <https://www.uv.mx/cienciahombre/revistae/vol25num3/articulos/efectos-luz/>

Master INNOVACIÓN QUE SE VIVE. *Modulo relevador de 5V*. Master Electronicos [en línea]. México. 2021. [Consulta: 22 de Noviembre 2020]. Disponible en: https://shop.master.com.mx/product/detail_ofs?id=7605

MAYLAMP MECHATRONICS. *Sensor de distancia infrarrojo SHARP GP2Y0A21*. Naylamp Mechatronics [en línea]. Perú. 2015. [Consulta: 22 de Noviembre 2020]. Disponible en: <https://naylampmechatronics.com/sensores-proximidad/203-sensor-de-distancia-infrarrojo-sharp-gp2y0a21.html>

MECATRÓNICA LATAM. *Diodo LED*. Mecatrónica LATAM [en línea]. 2016. [Consulta: 06 de Noviembre 2020]. Disponible en: <https://www.mecatronicalatam.com/es/tutoriales/electronica/componentes-electronicos/diodo/diodo-led/>

METRO WORLD NEWS. *Este robot destruirá las bacterias de su cocina con luz ultravioleta*. Publimetro [en línea]. 2015. [Consulta: 16 de Noviembre 2020]. Disponible en: <https://www.publimetro.cl/cl/teknik/2015/07/29/este-robot-destruira-bacterias-cocina-luz-ultravioleta.html>

MGSYSTEM. *Mgsystem Módulo Sensor Infrarrojo Ir Obstáculo Arduino* [en línea]. 2018. [Consulta: 10 de Noviembre 2020]. Disponible en: https://articulo.mercadolibre.com.ec/MEC-428665435-mgsystem-modulo-sensor-infrarrojo-ir-obstaculo-arduino-_JM

MICROCONTROLADORES. *Regulador Buck—Conceptos básicos de diseño y referencia*. *Microcontroladores* [en línea]. 2018. [Consulta: 05 de Marzo 2021]. Disponible en: <https://micros.grup6.com/regulador-buck/>

MILLÁN, Dionelys; et al. *Luz ultravioleta: Inactivación microbiana en frutas* [en línea]. Universidad de Oriente. Venezuela. 2015. pp. 454-469 [Consulta: 22 de Noviembre 2020]. Disponible en: http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1315-01622015000300011&lng=es&nrm=iso&tlng=es

NAUÑAY, Maritza. *Desarrollo de un módulo para tres prácticas de laboratorio para la asignatura de microcontroladores 2 de la carrera de electrónica mención instrumentación y aviónica de la unidad de gestión de tecnologías - ESPE* [en línea]. Universidad Tecnológica Israel. Quito - Ecuador. 2019. [Consulta: 06 de Noviembre 2020]. Disponible en: <http://repositorio.uisrael.edu.ec/bitstream/47000/1902/1/UISRAEL-EC-ELDT-378.242-2019-017.pdf>

NAYLAMP MECHATRONICS. *Sensor Ultrasonido HC-SR04.* Naylamp Mechatronics [en línea]. Perú. 2015. [Consulta: 16 de Noviembre 2020]. Disponible en: <https://naylampmechatronics.com/sensores-proximidad/10-sensor-ultrasonido-hc-sr04.html>

ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD. *Radiación ultravioleta.* World Health Organization [en línea]. 2021. [Consulta: 06 de Noviembre 2020]. Disponible en: http://www.who.int/topics/ultraviolet_radiation/es/

ORTIGOZA, Ramón; et al. *Modelado, simulación y construcción de un robot móvil de ruedas tipo diferencial.* Latin-American Journal of Physics Education [en línea]. 2010. pp. 39. [Consulta: 16 de Noviembre 2020]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3697986>

PASCUAL, Juan. *CleanseBot, el primer robot que mata las bacterias de la cama y otros lugares.* ComputerHoy [en línea]. 2019. [Consulta: 16 de Noviembre 2020]. Disponible en: <https://computerhoy.com/noticias/tecnologia/cleansebot-primer-robot-mata-bacterias-cama-otros-lugares-416093>

PICHUCHO, Jefferson. *Horno con rayos UV para la desinfección.* Banco de Ideas [en línea]. 2020. [Consulta: 19 de Octubre 2020]. Disponible en: <http://bancodeideas.gob.ec/proyecto/view?data=aWQ9MTI1NjM%3D>

POLOLU ROBOTICS; & ELECTRONICS. *Pololu—10:1 Micro Metal Gearmotor HPCB 12V* [en línea]. 2015. [Consulta: 06 de Noviembre 2020]. Disponible en: <https://www.pololu.com/product/3037>

PRIETO, Mario. *Lámparas UV-C: ¿puede algo que mata bacterias y virus ser dañino también para la salud de las personas?*. Smartlighting [en línea]. 2017. [Consulta: 06 de Noviembre 2020]. Disponible en: <https://smart-lighting.es/lamparas-uv-c-salud-personas/>

REDACCIÓN. *ESP8266 Módulo WiFi*. Descubrearduino [en línea]. 2019. [Consulta: 16 de Noviembre 2020]. Disponible en: <https://descubrearduino.com/esp8266/>

REDACCIÓN. *Robot sanitizante utiliza luz UVC contra Covid-19 en el aeropuerto de Pittsburgh*. Pilotzi Noticias. [en línea]. 2020. [Consulta: 04 de Diciembre 2020]. Disponible en: <https://pilotzinoticias.com/2020/05/robot-sanitizante-utiliza-luz-uvc-contra-covid-19-en-el-aeropuerto-de-pittsburgh/>

ROBERTO, Carlos. *DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN ROBOT EUTÓNOMO MÓVIL USANDO TECNOLOGÍA FPGA* [en línea]. 2015. [Consulta: 16 de Noviembre 2020]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/10429/1/UPS-GT001506.pdf>

RODRIGUEZ, Mauricio. *DISEÑO Y CONSTRUCCION DE TRES MINI ROBOTS EXPLORADORES COOPERATIVOS*. 173. [en línea] . 2013. [Consulta: 05 de Marzo 2021]. Disponible en: https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/6692/1/CD-5089.pdf?fbclid=IwAR2aBjhZixSrscHhMAvrJdkuv-QTl7hwacslXMj0DL_3LMZ75zE1KwV4jw.

RUILOVA, Jomaira; & QUITO, Kevin. *INGENIERO EN ELECTRÓNICA, TELECOMUNICACIONES Y REDES* [en línea]. Escuela Politécnica Nacional. 2017. [Consulta: 22 de Noviembre 2020]. Disponible en: <http://dspace.espoch.edu.ec/bitstream/123456789/7957/1/98T00174.pdf>

RUIZ, Tomi. *Tutorial Arduino: Servomotor*. Electroensaimada [en línea]. 2017. [Consulta: 06 de Noviembre 2020]. Disponible en: <http://www.electroensaimada.com/servomotor.html>

SANTILLAN, Carlos. *Robot que evita obstáculos*. Ideas Robóticas Avanzadas [en línea]. 2014. [Consulta: 05 de Marzo 2021]. Disponible en: <http://ideasroboticasavanzadas.blogspot.com/2014/01/robot-que-evita-obstaculos.html>

SINOSTAR. *Portable UVC Germicidal Lamp.* SINOSTAR [en línea]. 2020. [Consulta: 16 de Noviembre 2020]. Disponible en: <https://www.sinostar.net/products/uv-lighting/38w-portable-uv-germicidal-lamp.html>

SIRPA, Erick. *ROBOTS: MÉTODOS DE LOCOMOCIÓN TERRESTRE.* Medium [en línea]. 2017. [Consulta: 04 de Diciembre 2020]. Disponible en: <https://medium.com/@ericksirpa/robots-m%C3%A9todos-de-locomoci%C3%B3n-terrestre-2964c68a9523>

SOLAQUE, Leonardo; et al. *Seguimiento de trayectorias con un robot móvil de configuración diferencial.* Ingenierías USBMed [en línea]. 2014. [Consulta: 22 de Noviembre 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.21500/20275846.298>

SOLER, Edgar. *Diseño de un algoritmo de autolocalización para un robot móvil* [en línea]. 2015. [Consulta: 22 de Noviembre 2020]. Disponible en: http://www.lleida.org/aeti_acces/doc/PDF3/Eng_tecnica/10.PDF

TARRÁN, Elio. *Desinfección por luz ultravioleta* [en línea]. 2017. [Consulta: 04 de Diciembre 2020]. Disponible en: <http://www.calidadambiental14000.com/cursos/uv.pdf>

UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DE VALENCIA. *¿Qué es GSM y cómo funciona?. VIU* [en línea]. España. 2018. [Consulta: 22 de Noviembre 2020]. Disponible en: <https://www.universidadviu.com/que-es-gsm-y-como-funciona/>

VALDERRAMA, Freddy. *Análisis, simulación y control de un convertidor de potencia DC-DC tipo boost.* Ingenium [en línea]. Universidad de San Buenaventura sede Bogotá. Bogotá - Colombia. 2011. [Consulta: 05 de Marzo 2021]. Disponible en: <http://revistas.usbbog.edu.co/index.php/Ingenium/article/view/1295>.

VIRTUALEXPO GROUP. *Plataforma omnidireccional KMP omniMove.* DirectIndustry [en línea]. 2018. [Consulta: 04 de Diciembre 2020]. Disponible en: <https://www.directindustry.es/prod/kuka-ag/product-17587-1714586.html>

VISHAY. *Cny70.* Vishay Semiconductors [en línea]. 2021. [Consulta: 25 de Febrero 2021]. Disponible en: <https://www.vishay.com/docs/83751/cny70.pdf>

ANEXOS

Anexo A: Algoritmo del RDUV-C en el *software* Arduino.

```

//ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO
//FACULTAD DE INFORMATICA Y ELECTRONICA
//INGENIERIA ELECTRONICA Y AUTOMATIZACIÓN

//Integrantes
//Gabriela Villacrés
//Dennys Totoy

//Declaración de variables
//Terminales de los sensores de distancia ultrasonicos
#define Trigi 2
#define Echoi 3
#define Trigf 4
#define Echof 5
#define Trigd 6
#define Echod 7
int LED = 25;

//Motor Derecho
const int ENA = 8;
const int IN1 = 9;
const int IN2 = 10;

//Motor Izquierdo
const int IN3 = 11;
const int IN4 = 12;
const int ENB = 13;

//Terminales de los sensores infrarrojos
const int sensorPinD1 = 28;
const int sensorPinI1 = 29;
```

```
const int sensorPinD2 = 30;
const int sensorPinI2 = 31;

//Terminales para el sistema de desinfección UV-C
int sharp = 24;
int estado = 0;
int rele1=26;
int rele2=27;

void setup()
{
  pinMode(Trigi, OUTPUT);
  pinMode(EchoI, INPUT);
  pinMode(Trigf, OUTPUT);
  pinMode(Echof, INPUT);
  pinMode(Trigd, OUTPUT);
  pinMode(Echod, INPUT);

  pinMode(IN1, OUTPUT);
  pinMode(IN2, OUTPUT);
  pinMode(IN3, OUTPUT);
  pinMode(IN4, OUTPUT);

  pinMode(sensorPinD1 , INPUT);
  pinMode(sensorPinI1 , INPUT);
  pinMode(sensorPinD2 , INPUT);
  pinMode(sensorPinI2 , INPUT);

  pinMode (LED, OUTPUT);
```

```
pinMode (sharp, INPUT);
pinMode(rele1, OUTPUT);
pinMode(rele2, OUTPUT);

Serial.begin(9600) ;

}
unsigned int impulseTimeI=0;
unsigned int distance_smi=0;
unsigned int impulseTimeF=0;
unsigned int distance_srf=0;
unsigned int impulseTimeD=0;
unsigned int distance_srd=0;

void loop()
{
  digitalWrite (LED, HIGH);
  //Control UV-C
  estado = digitalRead(sharp);
  int sensorcny=analogRead(A0);
  if((estado == 1)&&(sensorcny >=1))
  {
    digitalWrite (LED, HIGH);
    digitalWrite(rele1, HIGH);
    digitalWrite(rele2, HIGH);
    Serial.println("Estoy en el suelo, empiezo a desinfectar");

    //Movimiento del robot
    //Lectura sensor ultrasonico frontal
    digitalWrite(Trigf, HIGH);
```

```

delayMicroseconds(10);
digitalWrite(Trigf, LOW);
impulseTimef=pulseIn(Echof, HIGH);
distance_smf=impulseTimef/58;
//Lectura sensores infrarrojos
int valueD1 = 0;
int valueI1 = 0;
valueD1 = digitalRead(sensorPinD1 ); //lectura digital del sensor 1 infrarrojo derecho
valueI1 = digitalRead(sensorPinI1 ); //lectura digital del sensor 1 infrarrojo izquierdo

if ((distance_smf<=10 && distance_smf>0) || (valueD1 == LOW) || (valueI1 == LOW))
{
  //mParoyPregunto();
  Serial.println("sensor frontal");
  Serial.println(distance_smf);
  //Lectura sensor ultrasonico derecho
  digitalWrite(Trigd, HIGH);
  delayMicroseconds(10);
  digitalWrite(Trigd, LOW);
  impulseTimeD=pulseIn(Echod, HIGH);
  distance_smd=impulseTimeD/58;

  //Lectura sensor ultrasonico izquierdo
  digitalWrite(Trigi, HIGH);
  delayMicroseconds(10);
  digitalWrite(Trigi, LOW);
  impulseTimeI=pulseIn(Echoi, HIGH);
  distance_smi=impulseTimeI/58;

  int valueD2 = 0;

```

```

int valueI2 = 0;
valueD2 = digitalRead(sensorPinD2 ); //lectura digital del sensor 1 infrarrojo derecho
valueI2 = digitalRead(sensorPinI2); //lectura digital del sensor 1 infrarrojo izquierdo

if ((distance_smd>distance_smi) || (valueI2 == LOW))
{
  mDerecha();
  Serial.println("sensor izquierdo");
  Serial.println(distance_smi);
  Serial.println("sensor derecho");
  Serial.println(distance_smd);
  Serial.println("Detecte obstáculo,me voy a la derecha");
}
else if ((distance_smi>distance_smd) || (valueD2 == LOW))
{
  mIzquierda();

  Serial.println("sensor izquierdo");
  Serial.println(distance_smi);
  Serial.println("sensor derecho");
  Serial.println(distance_smd);
  Serial.println("Detecte obstáculo,me voy a la izquierda");
}
else if (distance_smf>10)
{
  mAvanza();
  Serial.println("sensor frontal");
  Serial.println(distance_smf);
  Serial.println("No hay obstáculo, avanza frontal");
}

```

```
    }  
  }  
  else  
  {  
    digitalWrite (LED, LOW);  
    digitalWrite(rele1, LOW);  
    digitalWrite(rele2, LOW);  
    analogWrite(ENA, 0);  
    analogWrite(ENB, 0);  
    Serial.println("Me levantaron del suelo, me pongo en pausa");  
    Serial.println("Llegue a casa");  
  }  
  delay(50);  
}  
void mAvanza()  
{  
  digitalWrite(IN1, HIGH);//MOTOR DERECHO  
  digitalWrite(IN2, LOW);  
  analogWrite(ENA, 255);  
  analogWrite(ENB, 255);//MOTOR IZQUIERDO  
  digitalWrite(IN3, HIGH);  
  digitalWrite(IN4, LOW);  
  delay(300);  
  
  analogWrite(ENA, 0);  
  analogWrite(ENB, 0);  
  delay(5000);  
}
```

```
void mDerecha()
{
    digitalWrite(IN1, LOW); //MOTOR DERECHO
    digitalWrite(IN2, HIGH);
    analogWrite(ENA, 200);
    analogWrite(ENB, 200); //MOTOR IZQUIERDO
    digitalWrite(IN3, LOW);
    digitalWrite(IN4, HIGH);
    delay(300);

    analogWrite(ENA, 0);
    analogWrite(ENB, 0);
    delay(1500);

    digitalWrite(IN1, LOW);
    digitalWrite(IN2, HIGH);
    analogWrite(ENA, 255);
    analogWrite(ENB, 255);
    digitalWrite(IN3, HIGH);
    digitalWrite(IN4, LOW);
    delay(450);

    analogWrite(ENA, 0);
    analogWrite(ENB, 0);
    delay(1500);

    digitalWrite(IN1, HIGH); //MOTOR DERECHO
    digitalWrite(IN2, LOW);
```

```
    analogWrite(ENA, 220);
    analogWrite(ENB, 220);//MOTOR IZQUIERDO
    digitalWrite(IN3, HIGH);
    digitalWrite(IN4, LOW);
    delay(300);

    analogWrite(ENA, 0);
    analogWrite(ENB, 0);
    delay(1500);

    digitalWrite(IN1, LOW);
    digitalWrite(IN2, HIGH);
    analogWrite(ENA, 255);
    analogWrite(ENB, 255);
    digitalWrite(IN3, HIGH);
    digitalWrite(IN4, LOW);
    delay(450);

    analogWrite(ENA, 0);
    analogWrite(ENB, 0);
    delay(1500);
}
void mlzquierda()
{
    digitalWrite(IN1, LOW);//MOTOR DERECHO
    digitalWrite(IN2, HIGH);
    analogWrite(ENA, 200);
    analogWrite(ENB, 200);//MOTOR IZQUIERDO
    digitalWrite(IN3, LOW);
```

```
digitalWrite(IN4, HIGH);  
delay(300);
```

```
analogWrite(ENA, 0);  
analogWrite(ENB, 0);  
delay(1500);
```

```
digitalWrite(IN1, HIGH);  
digitalWrite(IN2, LOW);  
analogWrite(ENA, 255);  
analogWrite(ENB, 255);  
digitalWrite(IN3, LOW);  
digitalWrite(IN4, HIGH);  
delay(450);
```

```
analogWrite(ENA, 0);  
analogWrite(ENB, 0);  
delay(1500);
```

```
digitalWrite(IN1, HIGH);//MOTOR DERECHO  
digitalWrite(IN2, LOW);  
analogWrite(ENA, 220);  
analogWrite(ENB, 220);//MOTOR IZQUIERDO  
digitalWrite(IN3, HIGH);  
digitalWrite(IN4, LOW);  
delay(300);
```

```
analogWrite(ENA, 0);  
analogWrite(ENB, 0);
```

```
delay(1500);
```

```
digitalWrite(IN1, HIGH);
```

```
digitalWrite(IN2, LOW);
```

```
analogWrite(ENA, 255);
```

```
analogWrite(ENB, 255);
```

```
digitalWrite(IN3, LOW);
```

```
digitalWrite(IN4, HIGH);
```

```
delay(450);
```

```
analogWrite(ENA, 0);
```

```
analogWrite(ENB, 0);
```

```
delay(1500);
```

```
}
```